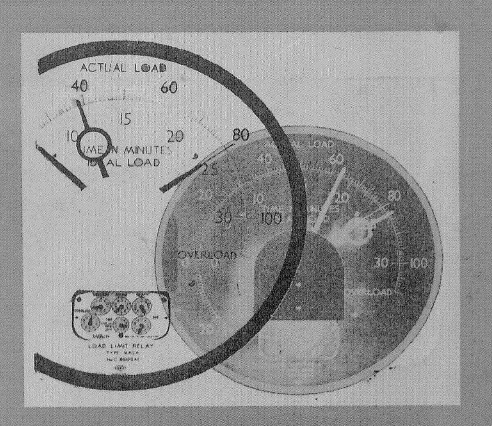


القياسات الكهربائية



تأليف

الدكتور مظفر انور النعمة

الدكتور سنان محمود عطار باشي

القياسات الكهربائية

القِيَاسَاتُ الكَهرَبَائِيَّةُ

تأليف

الدكتور مظفر أنور النعمة

الدكتور سنان محمود عطار باشي

بسم الله الرحمن الرحيم



سورة الرعد الاية 8

صدق الله العظيم

شكر وتقدير

نود أن نسجل شكرنا الى من ساهم في تقويم الكتاب واخراجه ونخص منهم :

المقوم العلمي : الدكتور سهيل سعدالله . مدير مركز الحاسبة الالكترونية / جامعة بغداد

المقوم اللغوي : السيد علي كمال الدين الفهادي كلية الآداب / جامعة الموصل

وكذلك نشكر منتسبي مديرية دار الكتب للطباعة والنشر على جهودهم القيمة في إنجاز وطبع الكتاب .

داعين المولىٰ عز وجل أن يوفقهم جميعاً لصالح الاعمال .

المؤلفان

كانون الثاني ١٩٨٨

المحتويـــات

الفصل الرابع

اجهزة قياس التيار المستمر :

الفصل الخامس

اجهزة التيار المتناوب

الفصل السادس

الجهاد والتطبيقات

الفصل السابع

مرسمة الترددات

الفصل الثامن

اجهزة القياس الالكترونية

الفصل التاسع

معداد التردد قياس المدة الزمنية

الفصل العاشر

مغيرات الاشارة

القياسات الكهربائية

وكل شيء عنده بمقدار (الرعد ٨)

مقدمـــــة :

لا يخفى على احد ازدياد الحاجة الى القياسات الكهربائية خاصة في الوقت الحاضر بسبب التقدم التكنولوجي . وقد تعددت أنواع واستخدام أجهزة القياس للحاجة الى زيادة الدقة والسهولة في القياس .

ومن الجدير بالذكر أن اجهزة القياس الكهربائية لاتستخدم لاغراض تخصص الهندسة الكهربائية فحسب ، ولكن أننشر استخدامها لتخصصات كثيرة بسبب سهولة استخدام هذه الاجهزة فضلاً عن امكانية تحويل الكميات الفيزياوية المختلفة الى كميات كهربائية وبالعكس .

ولهذا أصبح لزاماً على طلاب الهندسة الكهربائية معرفة أنواع القياسات وأجهزة القياس وأسلوب التعامل مع القراءات وتصحيحها .

إن دراسة القياسات الكهربائبة مرتبطة بدراسة علوم الهندسة الكهربائية المختلفة مثل الدوائر الكهربائية والالكترونيك وغيرها وكذلك الاطلاع الجيد على وحدات القياس وبعض المعلومات الاحصائية الاساسية .

يتضمن الكتاب عشرة فصول تناولت معظم المفردات المقررة لهذه المادة حسب المفاهيم الجديدة التي أقرت في مؤتمر التعليم العالي في تموز ١٩٨٧ . فضلاً الى بعض التقنيات الالكترونية الحديثة التي استحدثت في موضوع القياسات الالكترونية آملين أن نكون قد وفقنا لتغطية المنهج باسلوب واضح يقود الطالب الى معرفة أسس وتطبيقات هذه المادة .

ومن الله التوفيق

المؤلفـــان :
حزيران ١٩٨٧

١

مُقدِّمةٌ عَنِ القِياساتِ الكَهرَبائيَّة

١-١ لمحة تاريخية عن تطور القياسات واجهزتها :

إن عملية القياس هي نتيجة لاستخدام أجهزة القياس ويوجد في الوقت الحاضر عدد لا يحصى من أنواع القياس يقابل ذلك العدد الهائل من الاجهزة المختلفة منها البسيط والمعقد وتتباين هذه الاجهزة بالدقة في القراءة أو السهولة في الاستخدام والتشغيل أو بقابليات اخرى مثل جودة الصنع والمرونة وتعدد الاستعمالات ، على الرغم من أن الاساس في القياس ثابت ولم يطرأ عليه تغيير جوهري . ولفهم ذلك لابد من الارشاد هنا الى أن الخواص الفيزياوية التي يمكن قياسها محدودة من حيث التطبيق وإن معظم الخصائص يجب أن تترجم الى نظائرها من الخواص الكهربائية لنتمكن من قياسها بعد تحويل تلك الخاصية الفيزياوية الى كمية كهربائية وبالنتيجة سنتمكن من ترجمة وتحسس وقراءة الكمية بحواسنا الاعتيادية أو نقلها الى الحاسبة الالكترونية لاجراء التحليلات اللازمة وكل هذه الخطوات من أسس عملية القياس وهي قابلة التطور دوماً .

لايخفى على أحد بأن التقدم التكنولوجي مقرون دائماً بتقدم القياس وهناك اعتقاد سائد على أن تقدم الشعوب يقاس بدرجة دقة القياسات لديها وإن هذا السياق ينطبق على استخدام القياسات المتطورة للاعمال والبحوث ذات المستوى الرفيع وبعكسه فأن العلوم البسيطة يمكن أن تكون قياسات تجاربها بسيطة أيضاً .

إن فكرة القياس تعتمد في الوقت الحاضر على أسس الكترونية او كهربائية لاسباب معروفة وهي أولاً سهولة تحويل المعلومات والخصائص الفيزياوية الى كهربائية مثل الحرارة والسرعة والمسافات والضوء والصوت والضغط .

وثانياً وبعد تحويل الظاهرة الفيزياوية الى كهربائية يمكن نقلها بسهولة الى مكان بعيد . ونتيجة لذلك فإنه وخلال السنين الاخيرة حصلت تطورات جوهرية بسبب التقدم الحاصل في مجال الالكترونيك وخاصة لما لهذا الاستخدام من فوائد في زيادة دقة القياس أو سهولة القياس لان القراءة تسجل أو تقرأ بشكل مباشر ولا داعي لتضييع الوقت في تصحيح أو تغيير القراءة وأما الحاسبة فأنها هي الاخرى زادت من سهولة الحصول على النتائج بعد اجراء حسابات معينة . وفي الخمسينات كانت الاجهزة تعمل على أسس ميكانيكية وصعبة الاستخدام وفي كثير من الحالات لم يتمكن من استخدام الاجهزة الا اصحابها الذين صنعوها بأنفسهم أو أن تتوفر مهارة خاصة لدى اشخاص آخرين ليتسنى لهم استخدامها بكفاءة .

وفي هذه الايام وعلى الرغم من سهولة الاستخدام انه يجب على مستخدم الجهاز أن يلم مسبقاً الماماً جيداً بالجهاز وخصائصه ومحددات أدائه والظروف المثالية في استخدام الجهاز واحتمالات الاخطار ومصادرها الى غير ذلك من الامور مما يتوجب عليه اتخاذ القرار الصائب لاختيار الجهاز المناسب للقياس المناسب وهذا هو الغرض من دراسة هذا النوع من العلوم والمعروف بهندسة القياس .

1-2 وحدات القياس :

الوحدات الكهربائية القياسية الدقيقة ضرورية للمهندس الكهربائي والفيزياوي كضرورة شريط القياس للمسّاح او ساعة التوقيت للرياضي أو الغواص او رجل الفضاء . وكما هو الحال في المجالات الاخرى فأن التطور التقني يعتمد على وحدات القياس المستخدمة وقد كون العلماء الكهربائيون نظاماً خاص للوحدات واجريت عليها تطورات مع تطور العلوم الكهربائية .

ففي عصر الكهرباء الاول اي في بداية القرن التاسع عشر كانت الخواص والظواهر الكهربائية تحدد بالملاحظات والمشاهدات النوعية وبعدها أصبحت تلك الظواهر أكثر وضوحاً وكان بالامكان التوصل الى العلاقات الكمية وأن اول تلك المشاهدات كان في الحصول على الكهرباء بوساطة الدلك وهذا أدى الى

دراسة علاقة وتأثير الشحنات وسميت بالكهربائية المستقرة ومنها جاءت أول علاقة لكمية كهربائية واضحة وهي القوة بين الشحنات وما يعرف الآن بقانون كولوم . عندما تم انتاج التيار المستمر نتيجة اكتشاف الخلية الفولتية من قبل العالم فولتا عام ١٨٠٠ انتشر استخدام الكهرباء في مجالات متنوعة بضمنها دوران المحركات والمصابيح وانتاج القوس الكهربائي والمغناطيس الكهربائي . وبدأ تكوين الشبكات للدوائر الكهربائية عام ١٨٢٧ عندما أوجد العالم أوم قانونه المعروف باسمه حيث عبر عن كمية التيار المار في دائرة يعتمد مباشرة على القوة أو الضغط الكهربائي والمعروفة بالفولتية وعكسياً على خصائص الدائرة المعروفة بالمقاومة وعندها لم يكن لدى العالم أوم معرفة بوحدات الامبير والفولت والاوم لقياسها عدا حركة وتأشير المقياس النسبية وقد كانت تعرف المقاومة في البدايه بمقاومة سلك نحاس غير محدود وحسب توفره وبما يشبه استخدام الانسان لوحدة الطول غير الثابتة في بداية قياسه للاطوال وكذلك الحال بالنسبة للاوزان وعلى هذا الاساس اصبح من الضروري استحداث نظام عالمي للوحداب ليسهل تبادل المعلومات بين العلماء والمجربين وكذلك اصبح ضروريا عدم حصر الوحدات في عدد محدود من الناس لايفهمها سواهم وعليه يجب أن توثق بعلاقات مع الوحدات الاخرى مثل وحدات الطول والطاقة وغيرها . وقد أجرى العالم اورستد اول خطوة نحو ذلك عام ١٨٣٢ عندما قاس المجال المغناطيسي الارضي بدلالة الطول والكتلة والزمن واما العالم كوراش عام ١٨٤٩ فقد تمكن من قياس المقاومة بدلالة الوحدات الميكانيكية وكذلك العالم وبر عام ١٨٥١ الذي وضع نظاماً متكاملاً للوحدات الكهربائية بدلالة الوحدات الميكانيكية وبعد انجازه أساس الوحدات الكهربائية في الوقت الحاضر .

في عام ١٨٦١ قامت المؤسسة البريطانيه بتكوين وحدات قياسية للمقاومة وقد اشترك في هذا العمل علماء ذلك العصر منهم ماكسويل وجول وكلفن ووينستون وقرروا اعتماد فكرة ويبر الكهرومغناطيسية المعتمدة على نظام السنتمتر والغرام والثانية للوحدات الميكانيكية . وقرروا جعل وحدة قياس المقاومة تساوي 10^9 وحدة كهرومغناطيسية وقررت المؤسسة البريطانية للوحدات عام ١٨٦٤ جعل هذه الوحدة تساوي مقاومة سلك لملف من سبيكة البلاتين والفضة يحفظ في حاوية مملوءة بزيت البرافين لحماية السلك من الصدأ والوحدات العملية الحالية أوم تساوي من الناحية النظرية 10^9 من الوحدات الكهرومغناطيسية حتى عصرنا هذا . وعلى أية حال يجب أن ينظر الى الوحدات بأنها كميات ثابتة يتم الرجوع اليها ويكون تداولها مفهوماً من قبل الاوساط كافة . وهناك قصص كثيرة أخرى على تدرج الوحدات القياسية الاخرى لامجال لذكرها جميعاً .

الوحدات القياسية العالمية الكهربائية :

استخدم المهندسون والعلماء الكهربائيون النظام العشري المستخدم في النظام الفرنسي واعتبروه أساساً لنظم الوحدات الذي استخدم ونسمى بنظام سنتمتري **C.G.S** (سنتمتر ، غرام ثانية) ثم استبدل الغرام بالكيلوغرام والسنتمتر بالمتر فتحول نظام الوحدات الى مايسمى بالـ **M.K.S** (متر ، كيلوغرام ، ثانية) الا أن هذا النظام تطور الى ما يدعى بالـ **S.I** وهو مختصر في اللغة الفرنسية **Standard le International** وقد وجدت دول كثيرة فائدة النظام وتجانسه وارتباط وحداته مع بعضها بعلاقات رياضية بسيطة وواضحة وانه يشابه الى حد بعيد نظام الـ **MKS** .

وللتعريف بنظام الـ **S.I** نود أن نشير الى أن النظام هذا اختار ست كميات فيزياوية أساسية دعيت وحداتها بالوحدات الاساسية وهي الكتلة والطول والزمن والتيار الكهربائي ودرجة الحرارة المطلقة وشدة الاستضاءة اما وحدات الكميات الاخرى فهي وحدات مشتقة من هذه الوحدات وترتبط معها بعلاقات خاصة كما يتضمن النظام عوامل للضرب **prefix** تضاف قبل الوحدات لتبيان بعض المضاعفات العشرية ويبين الجدول ((1.1)) بعضاً من هذه البادئات ورموزها :

جدول (1.1) رموز ومعاني البادئات

الرمز	البادئة			معامل الضرب
T	تيرا	tera	10^{12}	1000000000000
G	كيكا	giga	10^{9}	1000000000
M	ميكا	mega	10^{6}	1000000
k	كيلو	kilo	10^{3}	1000
m	ملي	milli	10^{-3}	0.001
u	ميكرو	micro	10^{-6}	0.000001
n	نانو	nano	10^{-9}	0.000000001
p	بيكو	pico	10^{12}	0.000000000001

يلاحظ في هذا الجدول أن كافة الكميات ذات الموجب يرمز لها بالحروف اللاتينية الكبيرة عدا رمز الكيلو الذي يستعمل حرفا صغيراً أو كبيراً . أما الكميات ذات الاس السالب فتستخدم الحروف الصغيرة وبشذ عن ذلك استخدام الحرف الاغريقى μ (ميو) .

كما أن هناك بادئة شائعة أخرى هي السنتي **centi** لاستخدامها مع المتر كجزء من مائة منه .

لقد عرف المتر في النظام القياسي الدولي بأنه **1650 763.73** مرة بقدر طول موجة الاشعاع البرتقالي لعنصر الكربتون **86** . وهذا الطول يعادل طول المتر المعروف منذ حوالي القرنين من الزمن في فرنسا . أما الوحدة الأساسية للكتلة فهي الكيلوغرام وتعادل تقريباً وزن الف سنتمتر مكعب من الماء في "4م والوحدة الأساسية للزمن هي الثانية وقد عرفت بدقة بدلالة فترة التردد الانتقالي بين مدارات ذرة السيزيوم .

أما وحدة درجة الحرارة فهي درجة كلفن . والوحدة الأساسية لشدة الضوء هي الكانديلا . وبقيت هناك الوحدة الأساسية الاخيرة المهمة في دراستنا وهي الامبير **Ampere** والتي تعادل سريان شحنة مقدارها كولوم **Coloumb** واحد بالثانية . لذا علينا أن نعرف الكولوم الذي هو وحدة الشحنة وسيتم ذلك بعد قليل .

يتضمن أساس نظام الوحدات القياسية العالمية تجانساً في اشتقاق وحداته الثانوية . فوحدة القوة **force** مثلاً تشتق من قانون نيوتن والذي ينص على أن القوة تساوي الكتلة **mass** مضروبة في التعجيل . لذلك فأن وحدة القوة تعادل وحدة الكتلة وهي الكيلوغرام مضروبة في وحدة التعجيل **acceleration** وهي المتر لكل ثانية تربيع (م/ ثا^2) وتسمى هذه الوحدة بالنيوتن **Newton** أما وحدة الشغل **Work** فهي عبارة عن حاصل ضرب وحدة القوة **force** ووحدة الطول أي نيوتن ــ متر وتدعى بالجول **Joule** . وهي وحدة الطاقة نفسها . أما وحدة القدرة **Power** فتشتق من وحدة الطاقة **Energy** حيث أن القدرة هي معدل استهلاك الطاقة . لذا فأن وحدة القدرة تعادل وحدة الطاقة مقسومة على وحدة الزمن أي جول بالثانية وتدعى بالواط . **Watt** .

وهكذا يتبين أن اشتقاق وحدات لكميات ثانوية جديدة يتم بالاعتماد على الوحدات القياسية الأساسية أو على وحدات مشتقة منها .

بقي علينا أن نعرف وحدة الشحنة ويمكن أن يتم ذلك بالاستناد الى قانون كولوم الذي ينص على وجود قوة تنافر بين أي شحنتين متناهيتين موضوعتين بالقرب من بعضهما البعض . فأذا وضعت شحنتان متساويتان بحيث كانت المسافة بينهما متراً واحداً وأدى ذلك الى وجود قوة تنافر بينهما تعادل 10^{-7} C^2 نيوتن حيث C ترمز الى سرعة الضوء والتي تساوي 2.997925×10^8 متر بالثانية . فأن كلاً من الشحنتين تعادل كولوما واحداً وقد وجد أن الكولوم الواحد يحوي 6.24×10^{18} الكتروناً ومن ذلك يمكن تعريف الأمبير على انه عبارة عن كولوم بالثانية .

وبامكاننا المضي في اشتقاق وحدات الكميات الكهربائية الاخرى بالاسلوب نفسه . فوحدة فوق الجهد أو القوة الدافعة الكهربائية بين نقطتين هي الفولت Volt الذي هو عبارة عن جول لكل كولوم . نظراً لان فرق الجهد بين النقطتين هو عبارة عن الطاقة اللازمة لنقل كولوم واحد من الشحنة بينهما .

ببين الجدول 1.2 رموزاً للوحدات الأساسية وبعض الوحدات المشتقة منها مع العلاقات بينتها . كما يشير الجدول (1.3) الى الرموز الكهربائية والالكترونية المستخدمة في القياسات والخرائط الكهربائية .

1.3 طبيعة قياس الكميات الكهربائية :

إن عملية القياس في الحقيقة هي لايجاد قيمة لكمية فيزيائية معينة نسبة الى كمية اخرى . فمثلاً يمكن قياس التيارات في دائرة كهربائية لمعرفة نسبة كل منها الى الآخر . وفي حالات اخرى قد يكون الهدف ايجاد الكمية الحقيقية بالمعنى الفيزياوي للتيار مثلاً . او ان تكون القيمة نسبة الى مقدار ثابت كما في حالة قياس المسافات بالمتر او التيار بالامبير والفولتية بالفولت

ويلاحظ ان الاستخدام العام للاسس المتباينة في المقارنة يؤدي الى صعوبة التمييز بين القياسات المختلفة بسبب ضرورة تبادل وايصال المعلومات والآراء الى اشخاص آخرين قد لا يعلموا الاساس الذي تم اخذه عند القياس ليتمكنوا من فهمها يجب ان يعلم ماذا تعبر عنه هذه القياسات لتصبح مفهومة ويمكن الاستفادة منها في الاغراض المختلفة . وانها بحق الصعوبة الاساسية التي تواجه كل انواع القياس وتطوراتها المستمرة . لذلك فقد تم الاتفاق دولياً على وحدات قياسيه دولية يمكن تمييز كافة الكميات الكهربائية بموجبها وعليه تعد وحدة القياس

الجدول 1.2

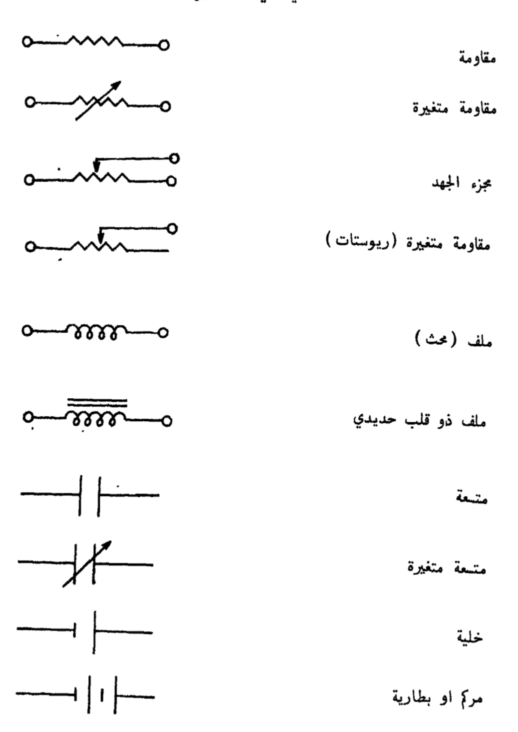
قائمة المصطلحات والرموز ومختصرات الوحدات

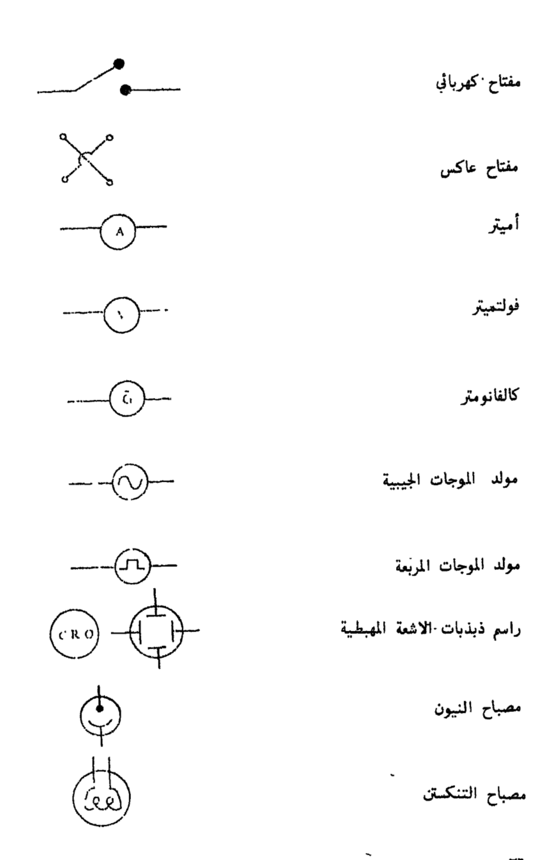
الوحدة	الرمز	المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
m/s^2	a	Acceleration, linear	التعجيل الخطي
S	Y	Admittance	المسايرة
m^2	A	Area	المساحة
F	C	Capacitance	السعه
C	Q	Charge	الشحنة
S	G	Conductance	المواصله
S/m	γ (gamma)	Conductivity	الموصلية
A	I	Current	التيار
A/rad, A/m	A	Current surface density	الكثافة السطحية للتيار
–	η (eta)	Efficiency	الكفاءة
V/m	E	Electric field strength	شدة المجال الكهربائي
C	Q	Electric flux	التدفق الكهربائي
C/m^2	D	Electric flux density	كثافة التدفق الكهربائي
V	V	Electric potential	الجهد الكهربائي
V	E	Electromotive force	القوة الدافعة الكهربائية
V	W	Energy	الطاقه
N	F.f	Force	القوة
–	k	Form factor	عامل الشكل
Hz	f	Frequency	التردد
rad/s	ω (omega)	Frequency, angular	التردد الزاوي
Hz	f_r	Frequency, resonant	تردد الرنين
–	G	Gain	الكسب
H	L	Inductance	المحاثة
H	M	Inductance, mutual	المحاثة التبادلية
Ω (omega)	Z	Impedance	الممانعة
–	σ (sigma)	Leakage factor	عامل التسرب
m	l	Length	الطول
kg	m	Mass	الكتلة
At/m	H	Magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسي

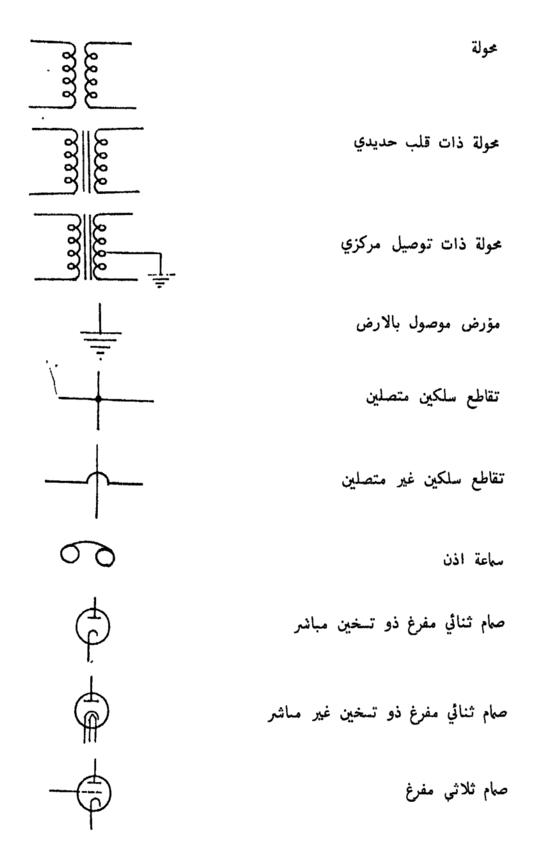
تابع جدول (2-1)

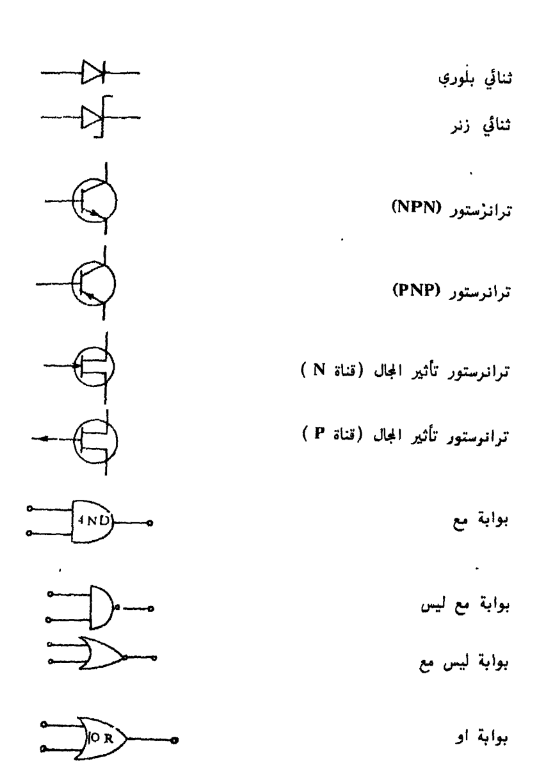
Wb	Φ (phi)	Magnetic flux	التدفق المغناطيسى
T	B	Magnetic flux density	كثافة التدفق المغناطيسى
Wb t	Ψ (psi)	Magnetic flux linkage	وصلية التدفق المغناطيسى
At	F	Magnetic potential difference	فرق الجهد المغناطيسي
At	F	Magnetomotive force	القوة الدافعة المغناطيسية
s	T	Period	الفترة
H/m	μ (mu)	Permeability	الانفاذية
H	Λ (lamdba)	Permeance	المنافذة
F/m	ε (epsilon)	Permittivity	السماحية
rad	Φ (phi)	Phase angle	زاوية الطور
W	P	Power, active	القدرة الفعالة
VA	S	Power, apparent	القدرة الظاهرية
var	Q	Power, reactive	القدرة المتفاعلة
Ω (omega)	X,	Reactance, capacitive	مفاعلة سعوية
Ω (omega)	X	Reactive, inductive	مفاعلة حثية
/H أو At/Wb	S	Reluctance	المعاوقة
Ω (omega)	R	Resistance	المقاومة
Ω m	ρ (rho)	Resistivity	المقاومية
–	β (beta)	Stacking factor	عامل الرص
S	B	Susceptance	التقبلية
K	α (alpha)	Temperature coefficient	معامل درجة الحرارة
C	θ theta	Temperature difference	فرق درجة الحرارة
s	t	Time	الوقت ــ الزمن
Nm	T,M	Torque	العزم
rad	λ (lambda)	Torque angle	زاوية العزم
J	W	Work	الشغل
rad/s, rev/s	ω (omega), n	Velocity, angular	السرعة الزاوية
m/s	u	Velocity linear	السرعة الخطية
m^3	V	Volume	الحجم

الجدول 1.3
الرموز الكهربائية والالكترونية
المستخدمة في القياسات الكهربائية




مفتاح كهربائي
مفتاح عاكس
أميتر
A
فولتميتر
كالفانومتر
مولد الموجات الجيبية
مولد الموجات المربعة
راسم ذبذبات الاشعة المهبطية
CRO
مصباح النيون
مصباح التنكستن


محولة
محولة ذات قلب حديدي
محولة ذات توصيل مركزي
مؤرض موصول بالارض
تقاطع سلكين متصلين
تقاطع سلكين غير متصلين
سماعة اذن
صمام ثنائي مفرغ ذو تسخين مباشر
صمام ثنائي مفرغ ذو تسخين غير مباشر
صمام ثلاثي مفرغ


ثنائي بلوري
ثنائي زنر
ترانزستور (NPN)
ترانرستور (PNP)
ترانرستور تأثير المجال (قناة N)
ترانوستور تأثير المجال (قناة P)
AND
بوابة مع
بوابة مع ليس
بوابة ليس مع
OR
بوابة او

بوابة ليس

العالمية والمتفق عليها هي المرجع عند الحاجة لاجل المعايرة او تدقيق اجهزة القياس والتأكد من صلاحيتها للعمل والقراءة الصحيحة . كانت الوحدات القياسية الكهربائية قبل عام ١٩٤٨ تعتمد على الوحدات العالمية للقياس فمثلاً الاوم الواحد هو مقاومة عمود من الزئبق ذي مواصفات محددة والامبير كان يعتمد على كمية الترسب في محلول نترات الفضة والفولت على فرق الجهد في خلية الكادميوم وهذه الوحدات هي تطوير لمفاهيم سابقة فمثلاً الاوم كان مقاومة ملف سلكه من سبيكة الفضة والبلاتين والفولت الواحد كان فرق الجهد لخلية الزنك وهكذا والخلاصة فإن التطور الذي حصل في الكميات القياسية يهدف الى ايجاد كميات يسهل الحصول عليها لغرض التعبير والمقارنة لذا تم استخدام سلك المقاومة وخلية الكادميوم لفرق الجهد وعليه فإن الكميات التي تقارن معها لاغراض القياسات الكهربائية تحفظ بشكل يجعل قيمتها ثابتة باختلاف الظروف .

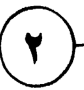
1.4 فن القياس :

القياس فن قبل كل شيء ويمكن ان يتبع اكثر من اسلوب للحصول على النتيجة نفسها ويعتمد ذلك على الخبرة والفطنة في الاداء ويمكن بذلك تجاوز كثير من الصعوبات التي تواجه عملية القياس خاصة للكميات الكهربائية التي تتطلب فهماً واسعاً وتصرفاً آنياً حسب الظروف ومتطلبات القياس .

لا يخفى على احد بأن اجهزة القياس تعين الانسان على تحسس الكميات الكهربائية المطلوب قياسها وقبل عملية القياس يشترط على من يقيس ان تكون لديه فكرة واضحة عن القيم المتوقعة وربما يحتاج الى اجراء بعض التحليلات الرياضية والاجراءات الاخرى في الدائرة الكهربائية قبل البدء بالقياس او بعده للتأكد من صحة النتائج التي حصل عليها .

ومهما تكن دقة المقياس فلابد من ان يكون هناك خطأ نسبي في القياس وبتحليلات معينة ودراسة لخواص الجهاز ومواصفاته ومواصفات الدائرة الكهربائية يمكن ايجاد قيمة الخطأ وتصحيح القراءات بموجبها واعطاء النتيجة الحقيقية والواقعية للقراءة المطلوب معرفتها وتعد الخبرة في القياس أساس النجاح في القياس الصحيح . فإن اختيار الطريقة الصحيحة للقياس بموجب الدقة اللازمة والاجهزة المتيسرة والكلفة والزمن المطلوب للقياس والمهارة التي يمتلكها الشخص الذي يقوم بالقياس كلها عوامل تساعد على الحصول على القياس الصحيح فضلاً عن التحليلات الرياضية اللازمة قبل وبعد القياس .

يحتاج رجل القياس الى مهارة متميزة لاكتشاف نقاط الصعف في الدائرة والتغلب عليها وايجاد اخطاء الربط ومعالجتها فضلاً عن النغلب على المشاكل الفنية الاخرى التى تنتج عن التأثيرات الجانبية على الدائرة وبعض الظواهر الفيزياوية الاخرى التي قد تؤثر على دقة القياس وفوق كل هذا وذاك يجب ان لاننس تحوطات الامان والوقاية من الصدمة الكهربائية لحماية أنفسنا وكذلك اختيار الربط المناسب حسب نوع الجهاز واختيار التدريج الصحيح قبل تسليط التيار على الدائرة لحماية الاجهزة والدائرة من العطب والتى قد تكلف في كثير من الاحيان مبالغ طائلة لاسباب بسيطة بشكلها الظاهري لكنها خطرة بنتائجها وعواقبها .



أخطاء القياس

2.0 مقدمـــــة :

ما دمنا نستخدم اجهزة لاجل القياس ولعلمنا بعدم وجود جهاز مثالي للقياس . نستدل بأن القياسات مها كانت لا تخلو من اخطاء . هذا وإن الذين يعملون في المختبرات ويحصلون على القراءات المختلفة خاصة للقياسات الدقيقة يعرفون مسبقاً اخطاء قراءاتهم الا ان الخبرة الطويلة والممارسة تجعلهم بتغلبون على بعض هذه المعضلات التي يعالجونها بأساليب مختلفة منها كاختيار نوع الجهاز او طريقة الربط او بعد اجراء بعض الحسابات الاولية والدراسة النظرية وعلى أية حال يجب على من يجري القياس ان يعيش ظروف التجربة والقراءة التي يقوم بأخذها ولا نبالي اذا قلنا ان تحصيل القراءة الجيدة فن ومهارة وخبرة لا تعوض .

وسنتطرق في دراستنا لاخطاء القياس الى أمرين هامين اولهما كيف يمكن تقليل الاخطاء وثانيهما لنتعلم كيف يمكن الاستفادة من النتائج واستنباط الارقام الحقيقية منها .

2.1 تعاريف مهمة :

هناك عدد من المصطلحات الضرورية والتي سيتكرر ذكرها في هذا الفصل سنقوم بتعريفها وشرحها اولاً وهي :

الخطأ :

ونعني به خطأ القراءة في القياس لانه وكما نعلم لاتخلو اي قراءة من الخطأ وتدخل الرياضيات والاحصاء في تكوين معادلات وقوانين خاصة بالاخطاء . والخطأ هو تقدير لقيمة الشك في القراءة . او فرق القيمة الحقيقية عن القيمة المقاسة .

جهاز القياس :

هو الاداة المستخدمة لايجاد قيمة لكمية او لمتغير كهربائي او غير ذلك .

القياس المتقن Accuracy

وهو قرب قراءة الجهاز من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة .

القياس المضبوط Precision

وهو درجة تقارب القياسات المختلفة .

دقة القياس Resolution

وهو اقل تغيير في الكمية المقاسة يمكن ان يتحسسها الجهاز لاجل التمييز بين القياس المضبوط والقياس المتقن ولابد لنا من ابضاح المعنى خاصة في مجال القياس ، فيقال عن الجهاز ذي قياس مضبوط اي تكون تأشيرات القياس فيه واضحة وتقسيات التدرج دقيقة وجيدة واما الجهاز ذو القياس المتقن فبسبب تكوينه الداخلي او لوجود اضافات خاصة بسهل اخذ القراءة منه مثل المرآة المضافة الى التدرج للتأكد من تطابق المؤشر مع صورته في المرآة اثناء النظر الى القراءة وكما هو عليه الحال في معظم المقاييس المختبرية .

واخيراً يمكن ان يكون القياس مضبوطا لمقياس معين ولكن بسبب عدم اجراء التصفير او خطأ اختيار التدرج نحصل على قياس غير متقن .

2.2 تصنيف الاخطاء :

لكون الاخطاء تنشأ من مصادر متعددة فإن طرائق تصنيفها متعددة ايضاً . ويمكن تقسيم الاخطاء أساسا الى قسمين :

أ ـ الاخطاء النظامية : **Systematic Errors**

وهى التي يمكن تجنبها او تصحيحها وتنشأ من سوء القراءة او الخلل في الجهاز او تأثير البيئة عليه او سوء الاختيار في ربط التجربة او نوع المقياس .

ب ـ الاخطاء العشوائية : **Random Erross**

وهي الاخطاء التي لا يمكن السيطرة عليها على الرغم من زوال جميع الاخطاء النظامية الاخرى .

وتتشعب الاخطاء النظامية الى اربع شعب وهى :

1 ـ الاخطاء الاجمالية (او العامة) : **Grross Errors**

وسببها اخطاء القراءة وعدم التصفير وسوء اختيار الجهاز او التدريج او اخطاء الحسابات الرياضية عند تحليل القراءات او غير ذلك .

2 ـ اخطاء الجهاز : **Instrument Errors**

وسببها خلل الجهاز او تقصير معين في ادائه مثل خطأ اجراء التغيير او خلل داخلي او تغير قيمة احد العناصر المكونة للجهاز او اي خلل او نقص في الجهاز او استهلاك احد اجزاءه .

3 ـ اخطاء البيئة : **Enviromental Errors**

تشمل هذه الاخطاء التأثيرات الفيزيائية على التجربة أو جهاز القياس المستخدم أو القيمة المراد قياسها ومن هذه التأثيرات الحرارة والضغط والرطوبة والاضطرابات الطارئة وما شاكل ذلك .

4 ـ اخطاء اجراء القراءة : **measurment Errors**

وتتضمن عدم كفاءة القارىء أو ضعف التقديرات وبعض التصرفات الغريبة اثناء القراءة وأمور اخرى .

واما الاخطاء المتخلفة فلا يمكن تجزئتها الى شعب كما فعلنا في الاخطاء النظامية بسبب تباين مصادرها الكثيرة ومنها ماهو غير معروف تماماً . وهذه الاخطاء لا يمكن السيطرة عليها ولايمكن تجنبها ولا تخضع لأية قاعدة أو أسلوب ثابت وغالباً مايكون سببها تراكم مجموعة أمور ويمكن أن يكون بعضها معروفاً ولا يمكن تجزئتها عن مجموعة الامور .

وفي كثير من الحالات لا يمكن تجنب الاخطاء المتخلفة مالم يتم تبديل الكمية المراد قياسها وتدعى احياناً بالاخطاء العشوائية .

وسنقوم فيما يلي بتفصيل انواع الاخطاء مع الامثلة لايضاح المفهوم العملي لكل حالة .

2.2.1. الاخطاء الاجمالية (أو العامة) :

يعد هذا النوع من الخطأ في القياس أوضح الانواع واسهلها للاكتشاف والتصحيح والعامل الأساس فيها هو الانسان نفسه أو ظروف التجربة والربط .

ومن هذه الاخطاء هو اختلاف القراءة بسبب ربط الدائرة لفترة من الزمن أو بسبب تغيير أسلوب الربط وكمثال على ذلك التغيير الذي يحصل في قيمة مقاومة معينة عند اختلاف قيمة التيار المار في المقاومة نفسها أو التغيير الذي يحصل في القراءات نتيجة اضافة جهاز أو تغيير ربطه في الدائرة فبالنسبة للحالة الاولى يمكن التغلب عليها وذلك بقياس المقاومة أكثر من طريقة واحدة واما الحالة الثانية فيمكن في كثير من الحالات اهمال الفروقات الطفيفة أو استحصال اكثر من قراءة وأخذ معدلها .

النوع الثاني من الاخطاء الاجمالية مايسمى بالخطأ النظري أي الاخطاء التي تحصل عند اجراء الحسابات وتطبيق المعادلات أو لدى استخدام معادلات ظروف تطبيقها لايشابه ظروف التجربة نفسها .

واما النوع الثالث من الاخطاء الاجمالية فسببها الاهمال وعدم الاهتمام عند أخذ القراءة فالاخطاء التي تحصل من قراءة المقياس نسبة الى تدريج غير التدريج الصحيح أو كأن يحصل الفرق في قراءة الكمية على المقياس وكتابة الرقم على دفتر الملاحظات مثلاً انت تقرأ 73.4 فولت وزميلك يسجل 74.3 فولت . كذلك يسجل هذا النوع من الخطأ عدم اجراء التصفير بعد تغيير التدريج أو

أن يقف القاريء بوضع منحرف لايستطيع أخذ القراءة الصحيحة من مؤشر المقياس .

النوع الرابع هو سوء اختيار الجهاز كأن يستخدم جهاز مخصص لترددات خارج المدى الذي صُمم من اجله أو أن يحمّل بترددات فوق قدرته فينتج موجات مغايرة للشكل الجيبي الذي تنتجه وهكذا .

واما النوع السادس من الاخطاء الاجمالية فهو خطأ الحسابات وآلة الحساب مثل المسطرة الهندسية أو حاسبة الجيب المستخدمة ويجب اجراء التدقيق المستمر لتلافي هذا النوع من الخطأ .

نعود الان الى الخطأ النظري وهو النوع الثاني الذي سبق ذكره من انواع الاخطاء الاجمالية لعرض مثال مختبري يوضح ذلك .

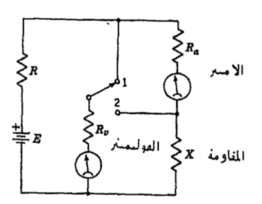
ففي تجربة الفولتميتر ـ أميتر المعروفة لقياس المقاومة فاذا كانت V الفولتية عبر المقاومة و I تيار المقاومة فان قيمة المقاومة X هى :

$$X = \frac{V}{I} \quad .... \quad (2.1)$$

هده المعادلة صحيحة عندما تكون مقاومة مقياس الفولتية قيمة غير منتهية وقيمة مقاومة مقياس التيار صفراً .

ولو طبقنا المعادلة (2.1) سوف نكون قد اخطأنا بسبب عدم تطابق الظروف النظرية للمعادلة مع الظروف العملية للتجربة . ولو اننا اهملنا مصادر الخطأ الاخرى الناتجة عن عدم تصغير الجهاز أو سخونة المقاومة .

يوضح الشكل 2.1 طريقتين لربط الفولتميتر والأميتر واذا كانت الأجهزة مثالية فسوف لاتختلف القراءة في الربطين ويمكن استخدام المعادلة النظرية بدون أي خطأ .



الشكل 2.1 طريقة ربط الفولتميتر والأميتر لقياس المقاومة

أ ـ الحالة الاولى المفتاح في الوضع 1 :

الأميتر يقرأ التيار المار في المقاومة X ولنفرض انه I_1 ، اما قراءة الفولتميتر فانها الفولتية عبر المقاومة X زائداً الفولتية عبر مقاومة الاميتر عندها :

$$X_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{Ix\,(X + Ra)}{Ix} = X + Ra$$

وذلك على فرض ان $I_1 = I_x$

لذا فان النسبة المئوية للخطأ γ_1 في X_1 هي :

$$\gamma_1 = \frac{(X_1 - X)}{X}\,100 = 100\,\frac{Ra}{X} \qquad (2.2)$$

وهذه القيمة موجبة لان قيمة المقاومة النظرية أكبر من القيمة الحقيقية .
واذا كانت $Ra = 0.1 \times$ فان الخطأ يكون واحد بالمائة واما Ra فهي مقاومة الفولتميتر ولايكون لها أي تأثير في هذا الربط .

ب ـ الحالة الثانية المفتاح في الوضع 2 :

يقرأ الفولتمبتر الان الفولتيه الصحيحة عبر المقاومة X ولكن قراءة الامبتر ستزداد لأن المقباس سيقرأ تيار المقاومة زائداً تيار جهاز الفولتمبتر فاذا فرضنا قيمة المقاومة في هذه الحالة X_2 وقراءة الفولتية V_2 والتيار I_2

$$X_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_x}{I_x + V_x / R_v} = \frac{1}{1/X + 1/R_v} = \frac{X}{1 + X/R_v}$$

لأن $V_2 = V_x \,.\, I_2 = I_x + V_2/R_v$

لذا فإن نسبة الخطأ γ_2 في قراءة X_2 هي :

$$\gamma_2 = \frac{(X_2 - X)\,100}{X} = \left(\frac{1}{1 + X/R_v} - 1\right)100 = -\frac{100}{1 + R_v/x}$$

وتكون هذه القيمة سالبة لأن القيمة النظرية للمقاومة X اقل من القيمة الحقيقية لهذا الربط ولأن قيمة التيار اكبر من القيمة الحقيقية لتيار المقاومة .

وكمثال اذا كانت $R_v = 100\ X$ فإن $\gamma_2 = -1\%$ واما قيمة R_a فلم تدخل في الحسابات .

ويظهر هذا بأن قيمة المقاومة المقاسة تلعب دورا مهما في اختيار الربط المناسب فاذا كانت $X/R_a > (1 + R_v/X)$ يستخدم الربط الاول وخلاف ذلك يفضل الربط الثاني .

2.2.2 اخطاء الجهاز :

معظم طرق القياس تعتمد في عملها على تأشير مؤشر المقياس والذي يتحرك بصورة ميكانيكية نحو الرقم ومن ثم يقرأ بالعين ويدل على قيمة القياس . وإن اسلوب التأشير هذا يعرض القراءة للخطأ ولاغراض الدقة في القياس يحاول

بعض الباحثين استخدام اجهزة حديثة لا تعمل بطريقة الانحراف الميكانيكي للمؤشر مثل المقاييس الالكترونية الرقمية والتي سيتم شرحها في فصل آخر من هذا الكتاب . ومهما يكن من أمر فلا يمكن التخلص نهائياً من اخطاء الاجهزة .

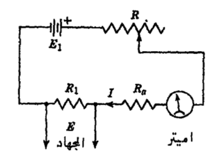
تكون معظم اخطاء الجهاز هي بسبب معايرة الجهاز والتي يجب اجراءها بين فترة واخرى بالمقارنة مع جهاز قياسي بسبب تغير قيم عناصر الدائرة الكهربائية مع الوقت .

كما تحصل اخطاء الاجهزة بسبب تعقيد الدائرة الكهربائية واعتماد معظم المقاييس على الحركات الميكانيكية ودوران بعض اجزائها وتعرضها للاستهلاك او تعرض بعض اجزائها للصدأ او احتكاك المؤشر مع زجاجة التدريج او ارتخاء النابض الميكانيكي او اختلاف قيم العناصر الكهربائية . ويجب على مستخدم الجهاز الانتباه الى اخطاء الجهاز ومعالجتها باجراء الصيانة المستمرة للجهاز .

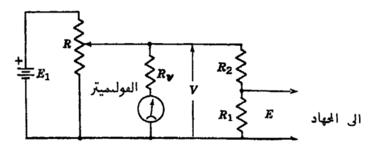
وفي هذه المناسبة سوف نتطرق الى طرق معايرة مقاييس التيار المستمر وتصحيح قراءاتها

أ ـ معايرة الاميتر بواسطة الجهاد الكهربائي potentiometer

يعرف الجهاد الكهربائي على انه جهاز يمكن بواسطته قراءة فولتيات واطئة بشكل مضبوط بحدود فولت واحد او اقل بدون مرور تيار في الجهاز وهو بعد بذلك مقياس فولتية ذو مقاومة عالية جداً تقترب من اللانهاية اي فولتميتر مثالي :



الشكل 2.2 دائرة معايرة الاميتر بواسطة الجهاد الكهربائي



الشكل 2.3 دائرة معايرة الفولتميتر بواسطة الجهاد الكهربائي

يستخدم الربط في الشكل 2.2 المعايرة الاميترات تمثل R_1 مقاومة قياسية معلومة بصورة مضبوطة وتتحمل قياس الاميتر لاقصى تدرج ، وتمثل E الفولتية عبر R_1 يتم قياسها بالجهاد الكهربائي من دون مرور تيار في الجهاد الكهربائي لذا فأن تيار الاميتر I يكون :

$$I = \frac{E}{R_1} \qquad \text{---- (2.2)}$$

حيث ان كلا من E ، R_1 معروفة بصورة مضبوطة . وإن المقاومة المتغيرة R تنظم لنحصل على قراءات تيار مختلفة ونقارن قراءة المقياس مع القيمة الحسابية للقراءة حسب المعادلة (2.2) السابقة .

ب ـ معايرة الفولتميتر بوساطة الجهاد الكهربائي :

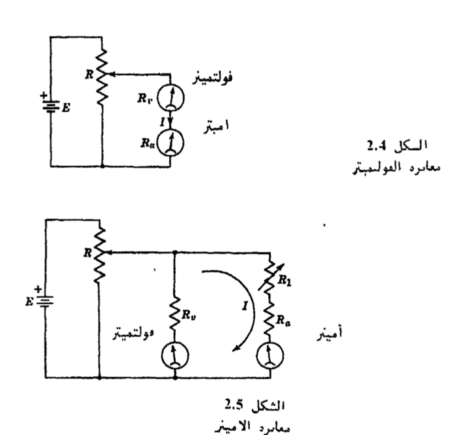
لاجل معايرة الفولتميتر يستخدم الربط الموضح في الشكل 2.3 اذ تستخدم المقاومات R_1 ، R_2 لتقسيم الفولتية حيث تصبح ضمن مدى تحمل الجهاد الكهربائي وعليه فإن الفولتية V عبر الفولتميتر تصبح :

$$V = \frac{(R_1 + R_2)\,E}{R_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) E \qquad \text{...(2.3)}$$

لذا فاذا علمنا النسبة R_2 / R_1 نستطيع حساب V بشكل مضبوط . ويمكن الحصول على قيم V مختلفة بواسطة تغيير المقاومة R وتقارن النتيجة مع قراءة الجهاز .

جـ ـ المعايرة بطريقة الفولتميتر ـ الاميتر :

يمكن معايرة كل من جهازي الفولتميتر والاميتر بهذه الطريقة ولغرض معايرة الفولتميتر تستخدم دائرة الشكل 4-2 ولمعايرة الاميتر تستخدم دائره الشكل 2.5 , حيث تكون مقاومة الفولتميتر في الحالة الاولى معلومة ونقرأ الاميتر القيمة الصحيحة للتيار .



الشكل 2.4
معايرة الفولتميتر

الشكل 2.5
معايرة الاميتر

لذا تكون الفولتية V عبر الفولتميتر $V = IR_V$ وأن R_V . I معروفة ويمكن ايجاد V ومقارنتها بالقراءة .

وبشكل مناظر يستخدم فولتميتر يقرأ بصورة صحيحة مع اميتر مقاومته الداخلية معروفة اذ تكون قيمة V هى الفولتية عبر الفولتميتر من الشكل

ويمكن حسابها من العلاقة $V = I\ (R_1 + R_a)$ (2.4) وعادة تكون R_a صغيرة جداً نسبة الى R_1 ويمكن اهمالها . وبتكرار عملية القياس نحصل على قراءات متعددة بتغيير قيمة R وذلك للحصول على قراءات تتناسب وتدريج الفولتميتر باكمله .

ويمكن استخدام دائرة الشكل نفسها وذلك بتثبيت قيمة I وتغيير R_1 ونترك تفاصيل هذه التجربة للطالب ونطلب منه الاجابة على مايلي :

١ ـ ماهو تأثير المقاومة R في هذه الحالة؟ هل تتغير ام تكون ثابتة .
٢ ـ كيف يمكن فحص قراءة تدريج التيار لاكثر من نقطة واحدة؟.

2.2.3 اخطاء البيئة :

تؤثر ظروف البيئة تأثيراً ملموسا "على القياسات كتأثيرها على الانسان ففى الجو الحار والرطب وتحت تأثير الاهتزاز والضغط الجوي او تغير المصدر يكون قارىء المقياس أقل صبرا للانتظار وكذلك فإن خواص الجهاز نفسه قد تتغير تحت هذه الظروف .

ويؤثر الليل والنهار على بعض القياسات اذا كان المكان مختبرا او معملا . علماً بأن اختلاف القراءات لايكون ثابتاً وان القضاء على الاختلاف ليس من الامور الهينة الا ان هناك عدد من الاجراءات التي يمكن اتباعها للتقليل من تأثيرات البيئة مثل استخدام نهايات الربط المغلقة لمنع تأثير المجالات الخارجية كما ان مكونات الدائرة الكهربائية للجهاز تصنع بحيث تتحمل الحرارة والاهتزاز الميكانيكي ويمكن استخدام التبريد بالطرق المناسبة أو عزل الجهاز بالحواجز المعدنية لمنع هذه التأثيرات . هذا وان اهم التأثيرات البيئية الحرارة والرطوبة ، فضلاً عن المجالات الكهرومغناطيسية التي تنتج من بعض الاجهزة .

2.2.4 اخطاء اجراء القراءة :

سبب هذا النوع من الاخطاء هو بعض العادات التي اعتاد عليها قارىء المقياس واسلوب تقديراته لاجراء القراءات علماً بأن الخبرة الطويلة والقراءة السريعة أو البطيئة جداً او القراءة بالنظر وبصورة غير صحيحة الى المؤشر او

فقدان الصبر . كذلك تأشيرات التدريج وحجم المؤشر وتزاحم الارقام على التدريج ووضوح التدريج للناظر أيضاً تعد من اخطاء القراءة . ويمكن التغلب على معظم هذه الاخطاء باجراء تصاميم جديدة وادخال تكنولوجيا متطورة الغرض منها ابعاد احتمالات هذه الاخطاء والاستفادة من تغيير التدريجات بشكل ذاتي وأخذ القراءة من شاشة صغيرة بشكل رقمي .

2.2.5 الاخطاء المتخلفة : Residual Error

هناك اخطاء لابد من تخلفها رغم اكتشاف ومعالجة الاخطاء المعروفة وتدعى أحياناً بالاخطاء العشوائية او غير المقصودة او غير المتوقعة ومصدرها مرتبط مع الكمية المراد قياسها او الجهاز نفسه .

ويمكن ان تحصل نتيجة تجمع عدد من العوامل منها عوامل مرتبطة بتركيب مكونات الدائرة الكهربائية للجهاز او تغير خصائص بعض اجزاء الجهاز ومن المعروف أن سمعة بعض الشركات لانتاج نوع معين من المقاييس أفضل من الانواع الاخرى في الاداء هو احد الاسباب في تفسير هذا النوع من الاخطاء ومعالجته على الرغم من أن طريقة العمل مشابهة . وأخيراً فإن اجراء عدد من القراءات هو أفضل السبل للتغلب على احتمالات الاخطاء وبالتحليل الاحصائي يمكن ايجاد نسب الاخطاء مهما كان سببها .

2.3 طرق تجنب الاخطاء :

هناك عدد من الطرق والاساليب التي تساعد على اجتناب الاخطاء منها :

أ ــ استيعاب القياس :

على من يقوم بالقياس ان يعلم خصائص ومحددات والاداء الاعتيادي للجهاز وان يلم بخلفية نظرية كافية لفهم مشاكل القياس . وكذلك يجب أن يكون قادراً على ايجاد طرق بديلة وان يستخدم الرياضات وان يلم بالقيم النظرية المتوقعة لمقارنتها مع القراءة الفعلية .

2 ـ اسلوب القراءة :

على من بقوم بالقياس اختيار الجهاز المناسب وابداله او فحصه عند الشعور برداءة القراءة او ايجاد دوائر ربط بديلة لايجاد القراءة نفسها وان يتعامل مع الاجهزة وكأنه يتفاهم معها ويعلم عنها الكثير ويفسر بعض الظواهر والمزايا تفسيراً تقنياً ذا عمق علمي وخبرة واسعة .

3 ـ الثقة بالنفس :

يجب على من يقوم بالقراءة أن يخطط لطريقة العمل والقراءة وأن يعمل بعناية وهدوء وتسجيل القيم مباشرة وبصورة منتظمة وتسجيل القراءات الشاذة او الظواهر السلبية والغريبة لغرض العودة اليها عند الحاجة .

2.4 التحليل الاحصائي :

يعد التحليل الاحصائي للقراءات من المواضيع الاساسية في القياسات حيث يمكن فرز القيم الجيدة من القراءات المسجلة بشكل متواصل ومن دون اعتماد بعضها على البعض الآخر ويمكننا كذلك بالتحليل الاحصائي اجراء التحليلات لايجاد القيمة النهائية وكذلك يمكن دراسة تأثير الاخطاء في القراءات ويمكن التنبؤ عن القيمة الصحيحة لذا فلابد من التعرف على بعض المصطلحات الاحصائية علماً بأن الاحصاء وعلم قائم بذاته .

لاجل القيام بالتحليل الاحصائي لابد من الحصول على القراءات وكذلك يجب ان تكون الاخطاء النظامية صغيرة بالمقارنة مع الاخطاء المختلفة .

أ ـ قيمة المعدل :

اذا كانت $V_1, V_2 \ldots. V_n$ مجموعة من عدد n من القراءات فإن الرمز V_i (حيث $i = 1,2, \ldots.n$) يستخدم في معادلة قيمة المعدل حيث

$$\bar{N} = \frac{1}{n}(V_1 + V_2 + ... V_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} V_i \qquad (2.4)$$

ب ـ الانحرافات عن قيمة المعدل :

لو اعتبرنا V عدد اعتباطي فإن انحراف المتغير V_i عن قيمة V يكون $y_i = V_i - V$ وعليه يكون

$$y_1 = V_1 - V \ , \ y_2 = V_2 - V, \ ...... \ y_n = V_n - V$$

وإن مجموع عدد n من الانحرافات يصبح

$$y_1 + y_2 + ... + y_n = \sum_{i=1}^{n} y_i \quad (V_1 + V_2 + ... + V_n) - nV$$

واذا كان مجموع الانحرافات السالبة والموجبة صفراً فإن

$$O = (V_1 + V_2 \ .... + V_n) - nV$$

وإن قيمة V الناتجة تكون :

$$V = \frac{1}{n}(V_1 + V_2 \ .... + V_n) = \bar{V}$$

وهذا يعني بأن قيمة المعدل هو العدد الذي مجموع الانحرافات فيه صفراً او انه احسن قيمة حولها الانحرافات الموجبة والسالبة المحتمل حدوثها تساوي صفراً .

وإن تعريف الانحراف عن المعدل معّرف بالمعادلة الآتية :

$$x_i = V_i - \bar{V} \ .... \ (2.5)$$

وبما ان مجموع الانحرافات حول قيمة المعدل تساوي صفراً فإن :

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = O \text{ .... } (2.6)$$

وهناك وجهة نظر اخرى في تعريف وتفسير الانحراف عن المعدل تستند على قيمة مربع الانحراف والنتيجة تعطي قيمة افضل وتعد من الناحية الاحصائية اقرب للواقع وذلك باخذ معدل مربعات الانحرافات ثم ايجاد جذرها . وتستخدم نظرية المربعات المقربة لتحديد المنحنيات بمعرفة عدد من النقاط او القيم حيث يشترط ان يكون مجموع مربعات الانحرافات بين المنحني والنقاط المعطاة اقل ما يمكن .

يمكن برهنة ذلك بأخذ الانحراف عن أي رقم V والبحث عن قيمة V التي تؤول الى اقل مجموعة لمربعات الانحرافات .

افرض انحراف المتغير V_i عن القيمة V يرمز له y_i حيث $y_i = V_i - V$ وإن مربع الانحراف هو :

$$y_i^2 = (V_i - V)^2 = V_i^2 - 2V_i\ V - V^2$$

وإن مجموع المربعات S لعدد n من المتغيرات هو :

$$S = \sum_{i=1}^{n} y_i^2 = \sum_{i=1}^{n} V_i^2 - 2V \sum_{i=}^{n} V_i + n\ V^2$$

والآن لنفرض ان V متغيرة ونوجد قيمة V التي تجعل S اقل ما يمكن بأخذ تفاضل S ومساواتها للصفر اي $O = \frac{ds}{dr}$ وبما ان كل قيم V_i ثابتة :

$$\frac{ds}{dv} = 2 \sum_{i=1}^{n} V_i + 2n\ V = o$$

ولايجاد V لاقل مجموع مربعات الانحرافات :

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} V_i = \bar{V}$$

وبسبب هذه الخاصية لقيمة المعدل يمكن ان تعتبر القيمة الاكثر احتمالاً ويجب التأكيد بأن هذه الخصائص لقيمة المعدل المستندة في علاقتها بالانحراف لا تتضمن اعتماد قيمة المعدل كاحسن قيمة قياس . ولكن يمكن استخدامها لاي قيمة لـ n ولكل اشكال توزيع القراءات .

الانحراف القياسي :

يمكن تعريف الانحراف القياسي على انه قيمة الجذر التربيعي لمعدل مربع الانحرافات عن المعدل والتعبير الرياضي لذلك .

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}(X_1^2 + X_2^2 ..... + X_n^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} X_i^2}$$

ويلاحظ من المعادلة بأن الانحراف القياسي ذو قيمة اكبر من معدل الانحراف وكذلك عن قيمة الخطأ المحتمل P بسبب زوال اشارة السالب باستخدام مربع الانحرافات ولذا تعد اكثر تحفظ في الحساب .

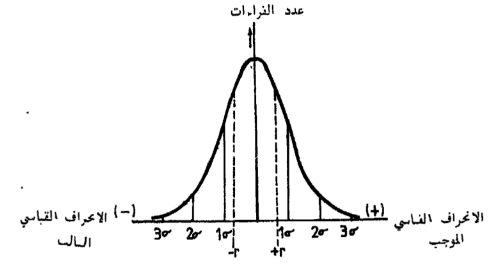
إن الانحراف القياسي يعتبر قيمة جذر معدل التربيع والمعروفة لدى مهندس الكهرباء عند استخدامها للتيار والفولتية المتناوبة .
فاذا كانت $n \gtrsim 1$ فإن الانحراف القياسي سيكون مساو لقيمة جذر معدل التربيع عند استبدال n-1 بـ n في المعادلة . وحتى وإن كانت n صغيرة 25 مثلاً فإن قيمة جـ.م.ت الانحراف تكون اقل من قيمة الانحراف القياسي بمقدار 2% ولهذا السبب فإن قيمة جـ.م.ت الانحراف تؤخذ على أنها قيمة الانحراف

القياسي . وعلى العموم يفضل استخدام معادلة σ لقيم n الصغيرة لان قيمة σ فيها تحفظ اكثر . ويمكن تعليل سبب استخدام العامل n-1 بدلاً من n لان $\bar{v}$ تعتمد على n مثلاً اذا كانت n = 2 فانه يجب حساب المعدل لأنحرافين ولكون الانحرافان متساويين بالقيمة لذا فهناك انحراف غير معتمد واحد لـ n = 2 . ولدى توسيع الكلام في هذا المجال يظهر بأن هناك n - 1 من الانحرافات غير المعتمدة لعدد n من القراءات . وهذا هو تعليل استخدام n - 1 بدلاً من n فضلاً عن سبب احصائي آخر سوف لا يتم التطرق اليه هنا .

واخيراً من المفيد الاشارة الى ان الانحراف القياسي يستخدم بكثرة في الاستخدامات العلمية كافة ولو ان التطبيقات الهندسية لها نظرة مخالفة للامور الاحصائية في هذا المجال .

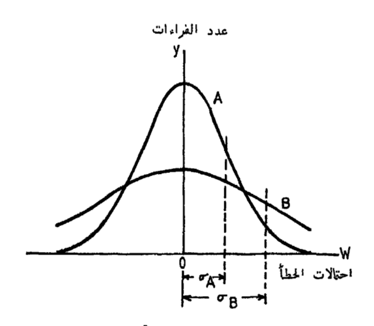
2.5 احتمالات الخطأ :

لو سجلنا عدد كبير من القراءات للفولتية او التيار لمقياس ما وفي فترات زمنية متساوية وقصيرة وقمنا برسم خط بياني لذلك بحيث ان المحور العمودي يمثل عدد القراءات والمحور الافقي يمثل القراءة نفسها لوجدنا ان اكبر عدد من القراءات يكون للاخطاء الصغيرة واقل عدد من القراءات يكون للاخطاء الكبيرة ويكون الشكل العام للمنحني بهيئة جرس كما موضح ادناه .



الشكل 2.5 منحني يبين احتمالات الخطأ . حيث المساحة المظللة توضح احتمالات الخطأ ويكون الاخطاء اقل للقراءات الكثيرة وان قيمة 0.6745 ± = r (الخطأ المحتمل)

ولابد ان نذكر في هذا المجال بأن الشكل العام للمنحني بتعير حسب دقة المقياس فيكون شكل الجرس واسعاً والمساحة تحت المنحني كبيرة عندما تكون الدقة قليلة وعلى العكس من ذلك فإن الجس بكون ضيقاً والمساحة تحت المنحني قليلة عندما تكون القراءات اكثر دقة وكما مبين في الشكل ادناه :



الشكل **2.6** مقارنة منحنيا توزيع الاخطاء ويلاحظ انه للقراءات الكثيرة تصبح الدقة اكبر ونسبة الخطأ اقل كما في **A** وان التشتت اكثر لعدد القراءات القليلة كما في **B** .

2.6 مسائل :

1 ـ ما هو الخطأ في القياس ولماذا وكيف يحدث ؟

2 ـ عدد اربعة مصادر للاخطاء المحتملة في اجهزة القياس .

3 ـ ما عدد الارقام المميزة في الكميات الآتية **10.3** ، **15** ، **0.005** ، **π** ؟

4 ـ اذا سلط فرق مقداره **2.15** فولت على مقاومة مجهولة وكانت شدة التيار المقاسة ملي امبير . فما هو مقدار الخطأ المتوقع في الحالات الآتية :

أ ـ عند قياس فرق الجهد .
ب ـ عند قياس شدة التيار .
جـ ـ عند حساب المقاومة .

5 ـ قرب الكميات الاتية الى ثلاثة ارقام مميزة :
أ ـ **8.346**
ب ـ **0.98469**
جـ ـ **10.457**
د ـ النسبة الثابتة

6 ـ هل يمكننا الحصول على قياسات دقيقة غير مضبوطة او بالعكس؟

7 ـ فولتميتر يقرأ **0-100 V** يحوي **200** تقسيم على تدريجه والتي يمكن أن تقرأ لحد نصف تقسيم . ماهي أقل قراءة للمقياس بالفولت .

8 ـ فولتميتر رقمى مدى القراءة فيه من صفر الى **9999** رقم . احسب أقل قراءة للمقياس بالفولت اذا كانت قراءه تدريج كامل **9.999** فولت .

9 ـ القيمة الاسمية لمقاومة **100 Ω** قيست **60** مرة بظروف متشابهة وحصلنا على مايلي :

قيمة القراءة	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006
عدد المرات	0	1	2	4	7	10	13	10	7	3	2	0	1	0

أ ـ اوجد قيمة المعدل .
ب ـ قيمة الانحراف القياسى .
جـ ـ مانسبة القراءات . الكائنة ضمن **2** بالمائة من قيمة الانحراف القياسى للمعدل .

10 ـ قس الهبوط بالفولت **112.5** عبر المقاوم الذي يمر فيه تيار **1.62** أميتر احسب القدرة المستهلكة في المقاومة . اعط الارقام المميزة فقط في الاجابة .

11 ـ حصلنا على القيم الآتية من قياسات لمقاومة 147.2 . 147.4 ، 147.9
148.1 ، 147.1 ، 147.5 . 147.6 ، 147.4 . 147.6 واخيراً 147.5
اوم احسب :
أ ـ المعدل الرياضي .
ب ـ معدل الانحراف .
جـ ـ الانحراف القياسي .

12 ـ احسب عامل القدرة وزاوية الطور في دائرة تحمل تيار جيبي من قياس التيار والفولتية والقدرة . كانت قراءة التيار 2.5 امبير على مقياس تدريجه 5 امبير وقراءة الفولتية 200 فولت على مقياس تدريجه 250 فولت والقدرة 220 واط على مقياس تدريجه 500 واط . الاميتر والفولتميتر مضمونان لحد٪ 1 ∓ من قراءة أعلى تدريج وكذلك الواطميتر احسب ←—— النسبة المئوية لدقة القراءات المقاسة .

٣

تحليل الدوائر الكهربائية

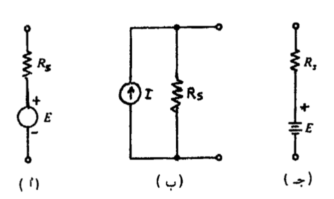
3.1 مقدمة

إن الغاية من هذا الفصل هو اعطاء ملخص عن النظريات والدوائر الكهربائية التي تشكل الاساس في علم القياسات فضلاً عن كونه مرجعاً سهلا للطلبة عند الحاجة الى أي نقطة فيه وكذلك للتعرف الى المصطلحات الكهربائية التي سترد في ثنايا الكتاب. اما تفاصيل هذه الموضوعات فيمكن الرجوع اليها في الكتب الخاصة بالدوائر الكهربائية وتحليلاتها.

3.2 تمثيل المصادر :

يمكن تمثيل مصادر الفولتية او التيار التي تجهز الدائرة، كعناصر للدائرة، ويجب ان تميز بصورة منفصلة عن الدائرة نفسها. ويستخدم بصورة عامة تمثيلان للمصادر المثالية هما :
الدائرة المكافئة للفولتية الثابتة. الشكل **3.1** (أ) والدائرة المكافئة للتيار الثابت، الشكل **3.1** (ب). وفي كلتا الحالتين، تمثل **R** المقاومة الداخلية للمصدر، وتمثل **E** في دائرة الفولتية القوة الدافعة الكهربائية ق. د. ك المتولدة، ونكون مقاومة **E** مساوية للصفر. تكون **E** ثابتة اي، غير معتمدة على الحمل المسلط على النهايات، وربما تتغير مع الزمن. اما في دائرة التيار، فيمثل **I** التيار المتولد، وتكون مقاومة فرع المولد قيمة غير متناهية. بكون

التيار ثابتاً ، اي غير معتمد على التحميل الخارجي . وربما بتغير في الطبع مع تغير الزمن كذلك .



الشكل 3.1 تمثيل المصادر

(أ) الفولتية (ب) التيار (جـ) البطارية

يمكن تمثيل اي مصدر معطى باحدى الدوائر هذه أي . هناك طرق مختلفة للنظر الى المصدر نفسه . اما اختيار الدائرة المكافئة التي تستخدم فتكون قضية تفضيل شخصي . وعلى الرغم من كون المصدر الفيزيائي هو الافضل ، وتعتبر البطارية مثال جيد لتلك التي وضحت في الشكل 3.1 (جـ) .

3.3 ملخص لشبكات المقاومة :

ينتج من تسليط فولتية V (ربما تتغير مع الزمن) على مقاومة ثابتة مرور تيار I المعطى بقانون اوم :

$$V = I.R \quad ....(3.1)$$

واصطلاحا ، يمثل التيار والفولتية باسهم كما موضح في الشكل 3.2 (أ) ، اذ يوضح سهم التيار اتجاه مرور التيار المصطلح عليه (الذي هو حركة الشحنة الموجبة في اتجاه السهم او حركة الالكترونات في الاتجاه المعاكس) ، بينما يشير سهم الفولتية الى النهاية الاكثر ايجاباً . وتتذكر ان مرور التيار المتفق عليه هو من النهاية الاكثر ايجاباً الى النهاية الاقل.يمكن ملاحظة ان كلا السهمين يشيران

الى المعلومات نفسها ، وتصبح زيادة الاختلاف هذه مفيدة في تحليل الدائرة . ويعوض عن سهم الفولتية في بعض الكتب باشارة + كما موضح في الشكل 3.2 (ب) . ويجب التذكر مرة ثانية ان هذه اشارة الى التيار ـ المستمر ، اذا تغيرت الفولتية بتغير الزمن . وربما يشار الى التيار بسهم بجانب رمز العنصر كما في الشكل 3.2 (ب) .

شكل 3.2 رموز الفولتيه والتيار والمقاومه .
(أ) الرموز المصطلح عليها للفولتية والتيار
(ب) رموز بديلة للتيار والفولتيه .
(جـ) المقاومة الكلية لمجموعة التوالي
(د) المقاومة الكلية لمجموعة التوازي .

يوضح الشكل 3.2 (جـ) مقاومة التوالي الفعلية Rser لسلسلة من المقاومات والتي تعطى بـ

$$Rser = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n$$

يوضح الشكل 3.2 (د) مقاومة التوازي الفعلية R_p للشبكة الموضحة والتي تعطى بـ

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots \frac{1}{R_n} \quad (3.3)$$

وباستخدام رمز التوصيلية G . يمكن كتابة ذلك كالتالي :

$$G_p = G_1 + G_2 + \ldots G_n \ldots \quad (3.4)$$

ويمكن تنظيم المعادلة 3.3 عند استخدام مقاومتين فقط لتعطي :

....(3.5)

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

ولغرض اختبار الحسابات . نلاحظ ان مقاومة التوالي المؤثرة اكبر دائماً من اعلى مقاومة مفردة في السلسلة ، بينما تكون مقاومة التوازي المؤثرة اقل دائماً من اصغر مقاومة مفردة في شبكة التوازي .

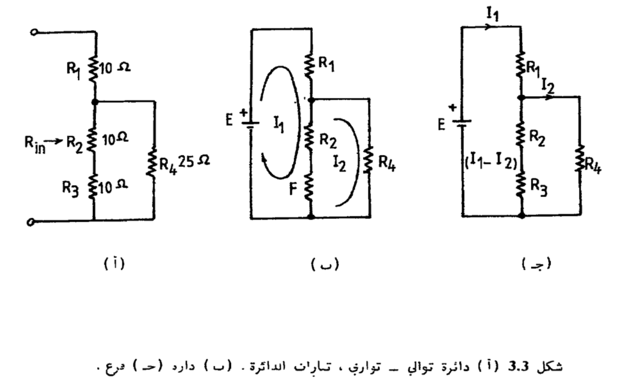
3.4 تحليل دوائر المقاومة :

يوضح الشكل 3.3 (أ) دائرة توالي ـ توازي . نلاحظ ان مقاومات الـ 10 أوم الثلاث هي ليست على التوالي لانها لاتحمل التيار نفسه . ولايجاد مقاومة الادخال المؤثرة لهذه الدائرة ، اي . المقاومة بين النهايات . تجمع R_2 و R_3 على التوالي أولاً لاعطاء

$$(R_2 + R_3) = 10 + 10 = 20\ \Omega$$

ثم تجمع R_4 على التوازي مع $(R_2 + R_3)$:

$$= \frac{25 \times 20}{25 + 20} = 11.1\ \Omega$$



شكل 3.3 (أ) دائرة توالي ـ توازي ، تيارات الدائرة . (ب) دارة (حـ) فرع .

واخيراً تضاف هذه القيمة الى R_1 على التوالي . اذ تكون مقاومة الادخال Rin هي :

$$Rin = 10 + 11.1 = 21,1\ \Omega$$

ان التطبيق الملائم لمعادلات كرشوف او (Mesh) عكن ان ببسط تحليل الدائرة بصورة ملحوظة . على الرغم من انه لايبرر استعمالها في متل هذه الدائرة البسيطة الموضحة في الشكل 3.3 (أ) ، اذ تستخدم لتوضيح هذه النظرية . وقد اعيد رسم هذه الدائرة في الشكل 3.3 (ب) بتسليط مصدر بطارية E ، ان مقاومة الادخال Rin هي :

$$Rin = \frac{E}{I_1} \qquad ...(3.6)$$

لقد فرض دوران التيار I_1 حول الدارة المؤلفة من E و R_1 و R_2 و R_3 ، والتيار I_2 حول الدارة R_2 و R_3 ، R_4 . تكون التيارات الحقيقية كما هوموضح في الشكل 1.3 (جـ) لكن يلاحظ في كلا الدائرتين ان التيار المار في R_2 و R_3 هو نفسه $(I_1 - I_2)$.

ان فائدة الطريقة الاولى هي امكانية كتابة معادلات كرشوف بصورة منتظمة ، اذن ومن الشكل 3.3ب ، تكون التيارات الدائرة في اتجاه عقارب الساعة حول كل دارة هي :

وبحل هاتين المعادلتين باستخدام المحددة ،

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} E & -(R_2 + R_3) \\ O & R_2 + R_3 + R_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & -(R_2 + R_3) \\ -(R_2 + R_3) & R_2 + R_3 + R_4 \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{E\,(R_2 + R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2 + R_3)\,(R_2 + R_3 + R_4) - (R_2 + R_3)^2}$$

اذن

$$R_{in} = \frac{E}{I_1} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3)(R_2 + R_3 + R_4) - (R_2 + R_3)^2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$= R_1 + R_2 + R_3 - \frac{(R_2 + R_3)^2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

وباستخدام القيم المعطاة في المثال :

$$R_{in} = 10 + 10 + 10 - \frac{(10 + 10)^2}{10 + 10 + 25}$$

$$= 30 - \frac{400}{45}$$

$$= 21.1 \ \Omega$$

أ ـ مجزىء الفولتية البسيط : **Potentiometer**

يتألف مجزىء الفولتية من مقاومة لها نقطة تفريع متغيرة ، كما موضح في الشكل 3.4 (أ) . نفرض ان فولتية الادخال E ثابتة ، يمكن ضبط تفريعة مجزىء الفولتية عند جزء ما (a مثلاً) من المقاومة الكلية R . المطلوب ايجاد فولتية الاخراج V_L بدلالة الكميات الاخرى ، وبتطبيق قوانين كرشوف في الدارات الحاوية على I_1 و I_2 نحصل :

اذن يكون I_2

$$E = I_1R - I_2aR$$

$$O = -I_1aR + I_2(aR + R_L)$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} R & E \\ -aR & O \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R & aR \\ -aR & (aR + R_L) \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{EaR}{R(aR + R_L) - (aR)^2}$$

$$= \frac{Ea}{R_L + a(I-a)R}$$

وتعطى فولتية الاخراج بواسطة .

$$V_L = I_2R_L$$

$$= \frac{EaR_L}{R_L + a(I-a)R}$$

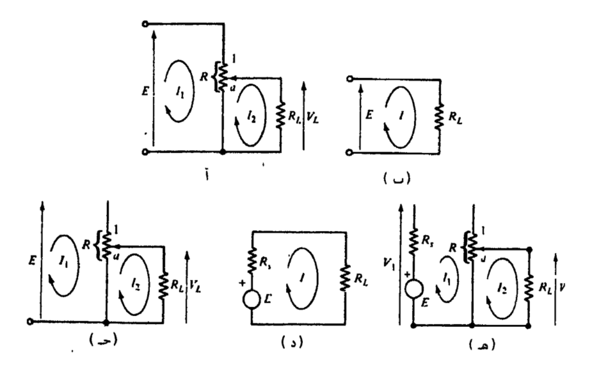
$$= \frac{Ea}{I + a(I-a)(R / R_L)}$$

تكون نسبة مجزىء الفولتية :

$$\frac{V_L}{E} = \frac{a}{1 + a(1-a)(R / R_L)} \qquad (3.9)$$

وتصبح هذه النسبة ، عند $R_L \gg R$:

$$\frac{V_L}{E} \simeq a \qquad (3.10)$$



شكل 3.4 (أ) مجزىء فولتية مقاومي تستخدم (ب) و (جـ) في تحديد فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$ وتستخدم (د) و (هـ) في تحديد فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$ باخذ مقاومة المصدر بنظر الاعتبار

وتعرف النسبة $\frac{V_L}{E}$ كذلك بدالة انتقال الفولتية . وهناك متغير وسيط مهم آخر هو فقد الادخال (insertion loss) ، الذي يعرف بأنه نسبة تيارات الحمل بوجود الشبكة الى عدم وجودها . ويكون فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$ من الشكل 3.4 (ب) و (جـ) :

الشكل 3.4 (ب)

$$I = \frac{E}{R_L}$$

الشكل 3.4 (جـ)

$$I_2 = \frac{E_a}{R_L + a(1-a)R}$$

اذن يكون فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$:

$$\frac{a}{1 + a(1-a)(R / R_L)} \qquad (3.11)$$

وتظهر كأنها دالة انتقال الفولتية نفسها ، ولا تكون صحيحة الا اذا أمكن اهمال مقاومة المصدر وعند اخذ مقاومة المصدر بنظر الاعتبار ، يعطي الشكل 3.4 (جـ) و (د) :

[الشكل 3.4 (د)] ...

$$I = \frac{E}{R_s + R_L}$$

$$E = I_2 (R + R_S) - I_2 a R$$

$0 = - I_1 aR + I_2 (aR + R_L)$ ... [(هـ) 3.4 الشكل]

اذن

$$I_2 = \frac{EaR}{(R + R_s)\, aR +) - (aR)^2}$$

ويكون فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$:

$$= \frac{aR\,(R_s + R_L)}{(R + R_s)(aR + R_L) - (aR)^2}$$

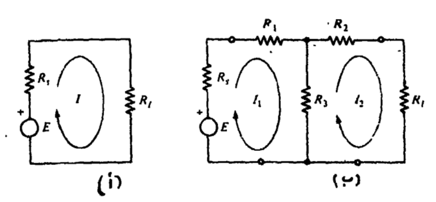
يمكن تعريف دالة انتقال الفولتية بصورة عامة كالآتي :

$$\frac{\text{فولتية الاخراج من الشبكة}}{\text{فولتية الادخال الى الشبكة}} \quad ....(3.13)$$

ومن الشكل 3.4 (هـ) يلاحظ انها تكون $\frac{V_L}{V_1}$ ، وبتفكير بسيط يتضح انها تساوي النسبة بين $\frac{I_2}{I}$ المذكورة للشكل 3.4 (جـ) .

ب ـ مخدات التوهين : Attenuation pads

إن مخدة التوهين هي شبكة مقاومية تستخدم لاعطاء كمية ثابتة للتوهين بين المصدر والحمل وان احدى الدوائر الشائعة هي موهن T الموضح في الشكل 3.5 (ب) . كما يعطي فقد الادخال توهينا . يعبر عنه عادة بالديسبل (decibel) .



شكل 3.5 · (أ) شبكة من دون موهن (ب) اضافه موهن T الى الشبكه (أ).

$$I = \frac{E}{R_s + R_L} \tag{3.14}$$ من الشكل 3.5 (أ)

من الشكل 3.5 (ب) $E = I_1 (R_2 + R_1 + R_3) - I_2R_3$

$$0 = -I_2R_3 + I_2 (R_2 + R_3 + R_L)$$

إذن

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} R_s + R_1 + R_3 & E \\ -R_3 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_s + R_1 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_2 + R_3 + R_s \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{ER_3}{(R_s + R_1 + R_3)(R_2 + R_3 + R_L) - R_3^2}$$

يكون فقد الادخال $= \frac{I_2}{I}$

$$= \frac{R_3 (R + R_L)}{(R_s + R_1 + R_3)(R_2 + R_3 + R_L) - R_3^2} \tag{3.15}$$

توضح الاشارة السالبة حدوث التوهين ، أي ، يكون فقد الادخال رقماً موجباً بالديسبل .

مثال 3.1 : احسب التوهين بالديسبل لمخدة T التي يكون فيها $R_1 = R_2 = 31\,\Omega$ و $R_3 = 25\,\Omega$. وتربط المخدة بين المولدة 50 اوم والحمل 50 اوم .

الحـــل :

$$\frac{I_2}{I} = \frac{25\ (50 + 50)}{(50 + 31 + 25)\ (31 + 25 + 50) - (25)^2}$$

$$= \frac{2500}{(106)^2 - (25)^2}$$

$$= 0.236$$

$$-20\ \log_{10} \frac{I_2}{I} = 12.65\ \text{dB}$$

ويحافظ الموهن عادة على شروط التوفيق (matching) كما سيوضح في الفقرة الآتية ، وكما وضح في المسألة 4 في الفقرة 3.16

يوضح الشكل 3.6 دائرة موهن بسيط ، الذي يستخدم عادة للتوفيق بين المصدر والحمل . أي ، عندما ندخل بين المصدر والحمل . تكون المقاومة المؤثرة بالنسبة للمصدر تساوي ممانعة المصدر في قيمتها ، وإن ممانعة المصدر المؤثرة كما يراها الحمل تساوي ممانعة الحمل في قيمتها . ويلاحظ من الشكل 3.6 (أ) ، أن :

$$R_s = R_{in} = R_1 + \frac{R_3\ R_L}{R_3 + R_L}$$

$$\therefore\ R_s - R_1 = \frac{R_3\ R_L}{R_3 + R_L}$$

$$\therefore \frac{1}{R_s - R_1} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_L} \qquad (3.17)$$

$$\frac{1}{R_L} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 + R_s} \qquad (3.18)$$

ويمكن استئصال قيمة $\frac{1}{R_3}$ من المعادلات (3.17) و (3.18) معطية :

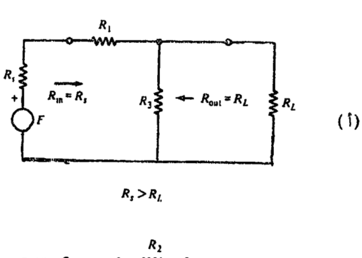
$$\frac{1}{R_s - R_1} - \frac{1}{R_L} = \frac{1}{R_L} - \frac{1}{R_s + R_1}$$

$$\therefore \frac{1}{R_s - R_1} + \frac{1}{R_s + R_1} = \frac{2}{R_L}$$

$$\therefore \frac{2R_s}{R_s^2 - R_1^2} = \frac{2}{R_L} \qquad (3.19)$$

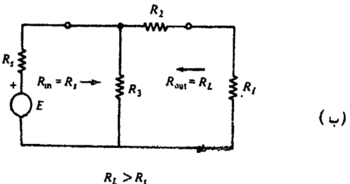
$$R_1^2 = R_s^2 - R_s R_L$$

$$R_1 = \sqrt{R_s(R_s - R_L)}$$



(أ)

$R_s > R_L$



(ب)

$R_L > R_s$

شكل 3.6 (أ) موهن نوع L ($R_S > R_L$) . (ب) موهن نوع ـ L ($R_S < R_L$)

ومن ثم يمكن تحديد قيمة R_3 من المعادلة (3.17) بواسطة تعويض R_1 من المعادلة (3.19) . ولتكون هذه النتيجة صحيحة يجب ان تكون $R_L < R_S$ ، والا تصبح R_1 قيمة خيالية . اذا كانت $R_L > R_s$ تستخدم دائرة الشكل 3.6 (ب) ، اذ تصبح المعادلة

مثال 3.2 تستخدم شبكة ـ L للموفيق بين المولدة 75 اوم والحمل 50 اوم جد قيم مقاومات الشبكة .

الحل : تستخدم دائرة الشكل 3.6 (أ)

$$\frac{1}{R_s - R_1} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_L}$$

اذن

$$\frac{1}{75 - 43.3} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{31.7} - \frac{1}{50} = \frac{1}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{31.7 \times 50}{50 - 31.7}$$

$$= 86.6\ \Omega$$

مثال 3.3 اعد المثال 3.2 عندما $R_s = 10\Omega$ و$R_l = 50\Omega$.

الحل : تستخدم دائرة الشكل 3.6 (ب) .

$$R_2 = \sqrt{R_L (R_L - R_s)}$$
$$= \sqrt{50 (50 - 10)}$$
$$= 44.72\Omega$$

$$R_2 = \sqrt{R_L (R_L - R_s)} \qquad (3.20)$$

$$R_1 = \sqrt{75(75 - 50)}$$
$$= 43.3\ \Omega$$

وبصورة مشابهة للمعادلة (1.17) :

$$\frac{1}{R_L - R_2} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_S}$$

إذن :

$$\frac{1}{50 - 44.72} \quad \frac{1}{R_3} + \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{5.28} - \frac{1}{10} = \frac{1}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{10 \times 5.28}{10 - 5.28}$$

$$= 11.19\,\Omega$$

3.5 الممانعة والمعاوقة : (Impedances and reactance)

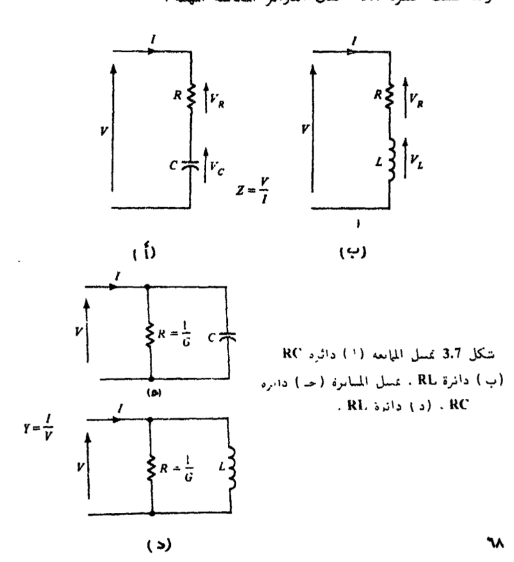
يمكن تحديد قوانين كرشوف وأوم لتشمل دوائر التيار ـ المتناوب بشرط اخذ خواص الدائرتين الاضافيتين للمحاثة والمتسعة بنظر الاعتبار . تعبر هذه الخواص بتيارات جيبية بدلالة الممانعة . يمكن ايجاد مواضيع الممانعة والاطوار وتمثيل الرقم المركب في أي كتاب جيد في تحليل الدوائر الكهربائية . ونعطي هنا ملخصاً لبعض النتائج المهمة .
نتائج المهمة .

تعرف ممانعة الدائرة Z بأنها نسبة الفولتية الطورية V عبر الدائرة الى التيار الطورية I خلال الدائرة .

$$Z = \frac{V}{I} = R + jX \qquad ...(3.21)$$

اذ ان $(j = \sqrt{-1})$.

ومن التعريف ، يكون الجزء الحقيقي R للممانعة هي بمقاومة الدائرة ، كما أن الجزء الخيالي X يمثل المفاعلة . وربما تتكون الدائرة فيزيائياً من مقاومة R مربوطة على التوالي مع مفاعلة X ، التي ربما تكون محاثة او متسعة او مجموعا منها . ومن المحتمل أن تمثل المعادلة (3.21) ممانعة مكافئة لدائرة اكثر تعقيداً وقد غطت الفقرة 3.7 احدى الدوائر المكافئة المهمة .



شكل 3.7 تمثل الممانعة (أ) دائرة RC (ب) دائرة RL . تمثل المسايرة (جـ) دائرة RC . (د) دائرة RL .

وبالنسبة للدائرة الموضحة في الشكل 3.7 (أ) :

$$Z = R + j X_c$$

$$= R - j \frac{1}{\omega C}$$

$$= R + j \left(- \frac{1}{\omega C} \right) \quad \text{.................. } 3.22$$

اي تكون المفاعلة السعوية من التعريف هي :

$$X_c = \frac{-1}{\omega C} \quad \text{........}(3.23)$$

اذ تمثل w التردد الزاوي للفولتية او للتيار الجيبي .

$$Z = R + j X_L$$

$$= R + j \omega L \quad \text{...}(3.24)$$

أي تكون المفاعلة الحثية من التعريف هي :

$$X = \omega L \quad \text{........}(3.25)$$

وكما موضح في الشكل 3.7 . يكون رمز الاشارة لهبوط الفولتية عبر العنصر غير الفعال هو نفسه كما للمقاومة .
وباهمال الاقتران الحثي ـ المتبادل (الذي سيفرض في الفصل 3.11) ، تكون المفاعلة المؤثرة لدائرة التوالي X_{ser} هي :

$$X_{ser} = X_1 + X_2 + X_3 \text{ ..... } X_n \text{ .... } (3.26)$$

وعندما تكون المفاعلات المفردة كافة حثية ، تكون محاثة التوالي المكافئة من المعادلتين (3.26) و (3.25) هي :

$$L_{ser} = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots\ldots L_n \quad \ldots(3.27)$$

اما في حالة المتسعات ، تكون متسعة التوالي المكافئة C_{ser} والتي يمكن الحصول عليها من المعادلتين (3.23) و (3.26) بالشكل الآتي :

$$\frac{1}{C_{ser}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots \frac{1}{C_n} \quad \ldots\ldots\ldots(3.28)$$

وتعطى المفاعلة المؤثرة لدائرة توازي الحاثات بواسطة :

$$\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \ldots \frac{1}{X_n} \quad \ldots\ldots\ldots(3.29)$$

وعندما تكون المفاعلات المفردة كلها حثية ، نحصل بذلك على تعبير الحاثة المؤثرة للتوازي (باهمال محاثة الاقتران) وهي :

$$\frac{1}{L_p} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots \frac{1}{L_n} \quad \ldots\ldots\ldots(3.30)$$

وعندما تكون المفاعلات المفردة كلها سعوية ، نحصل بذلك على تعبير المتسعة المؤثرة للتوازي وهي :

$$C_p = C_1 + C_2 + \ldots\ldots C_n \quad \ldots\ldots(3.31)$$

ولغرض التأكد من الحسابات ، يمكن ملاحظة أن L_{ser} اكبر من اعلى محاثة مفردة في دائرة التوالي . بينما يجب أن تكون L_p اصغر من اقل محاثة مفردة في دائرة التوازي . اما بالنسبة للمتسعات ، يجب ان تكون C_{ser} اقل من اصغر متسعة في دائرة التوالي ، بينما يجب أن تكون C_p اكبر من أعلى متسعة في دائرة التوازي .

مثـــال 3.4

احسبْ الممانعة (أ) مقاومة 5 اوم توالي مع محاثة 1.0 مايكروهنري و (ب) مقاومة 5 أوم توالي مع متسعة 0.02533 . مايكروفاراد ، عند تردد 1.0 ميكاهرتز .

الحـــل :

(أ)

$$Z = 5 + j2\pi \times 10^6 \times 10^{-6}$$
$$= 5 + j6.28\Omega$$

(ب)

$$Z = 5 - j/2\pi \times 10^6 \times 0.02533 \times 10^{-6}$$

$$= 5 - j6.28\Omega$$

3.6 المسايرة والتقبلية (ADMITTANCE AND SUSCEPTANCE)

تعرّف مسايرة الدائرة Y كنسبة التيار الطوري خلال الدائرة الى الفولتية الطورية عبر الدائرة . أي :

$$Y = \frac{I}{V} = G + jB \qquad \ldots(3.32)$$

ويلاحظ في ذلك أن المسايرة هي مقلوب الممانعة

$$Y = 1/Z \qquad ....(3.33)$$

ومن التعريف ، يمثل الجزء الحقيقي G للمسايرة "بتوصيلة" الدائرة ، كما يمثل الجزء الخيالي B بالتقبلية (susceptance) وتكون مسايرة الدائرة المؤلفة من مقاومة نموذجية R على التوازي مع متسعة مثالية C كما في الشكل 3.7 (جـ) هي :

$$Y = G + j\ B_C$$

$$= \frac{1}{R} + j\omega C \qquad ...(3.34)$$

اذن تكون التوصيلة

$$G = 1/R \qquad ....(3.35)$$

وتكون التقبلية السعوية

$$B_C = \omega C \qquad ....(3.36)$$

وتكون مسايرة الدائرة المؤلفة من مقاومة نموذجية R على التوازي مع محاثة نموذجية L كما في الشكل 3.7 (جـ) .

$$Y = G + jB_L \qquad ....(3.37)$$
$$= G + j(-\ 1\ /\ \omega L)$$
$$= G - j\ /\ \omega L$$

اذن تكون التقابة الحثة هي :

$$B_L = -1 / \omega L \qquad ....(3.38)$$

وقد لايحتمل في الناحية العملية فرض العناصر النموذجية ، وخاصة في الملفات التي تتميز عادة بمقاومة التوالي . وستعالج مسابرة هذا النوع من العناصر في الفقرة 3.7 .

مثال 3.5

عند التردد 1.0 ميكاهرتز . احسب المسابرة لـ (أ) مقاومة 1 كيلواوم توازي مع متسعة 200 بيكوفاراد . و (ب) مقاومة 1 كيلواوم توازي مع محاثة 126.6 مايكروهنري .

الحل :

$$Y = \frac{1}{10^3} + j2\pi \times 10^6 \times 200 \times 10^{-12}$$

$$= 10^{-3} + j12.57 \times 10^{-4} \text{ (S)}$$ سيمنس

$$= 1 + j1.257 \text{ mS}$$

$$Y = 10^{-3} - j/(2\pi \times 10^6 \times 126.6 \times 10^{-6})$$

$$= 1 - j1.257 \text{ mS}$$

3.7 ربط التوالي والتوازي المتكافئان

تكون الممانعة هي اكثر الكميات ملائمة لاستعمالها عند التعامل مع دوائر التوالي ، وتكون المسايرة كذلك عند التعامل مع دوائر التوازي ، على الرغم من تحويل القيمة النهائية للمسايرة عادة الى مقاومة توازي مع محاثة (عوضاً عن تركها بشكل توصيلية وتقبلية) ويمكن ايجاد مكافيء مفيد جداً بين دوائر التوالي والتوازي ، عند تردد معلوم .

نفرض أولا دائرة يمكن تمثيلها بمقاومة R على التوالي مع مفاعلة X .

$$Z = R + jX$$

تكون المسايرة المكافئة هي :

$$Y = 1/Z$$

$$G + jB = \frac{1}{R + jX}$$

$$= \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2}$$

اذن تكون التوصيلة المكافئة هي :

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} \qquad ....(3.39)$$

وتكون التقبلية المكافئة هي :

$$B = -\frac{X}{R^2 + X^2} \qquad ...(3.40)$$

مثال 3.6

احسب دائرة التوازي المكافئة لمتسعة 100 بيكو فاراد مربوطة على التوالي مع مقاومة 1 اوم ، عند تردد 15.9 ميكاهرتز .

الحل :

$$X_c = \frac{-1}{2\pi \times 15.9 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-12}}$$

$$= 100\ \Omega$$

$$G = \frac{1}{1^2 + 100^2}$$

$$\cong 10^{-4}\ S$$

اذن تكون مقاومة التوازي المكافئة للدائرة هي 10^4 اوم او 10 كيلو اوم ومن المعادلة (3.40) :

$$B = \frac{-(-100)}{1^2 + 100^2}$$

$$\cong 0.01 \quad S$$

سيمنس

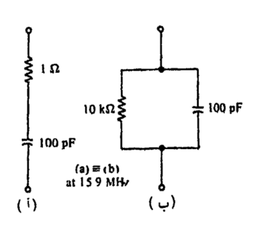
ومن تطبيق المعادلة (3.36) نجد متنعة التوازي المكافئة تساوي :

$$B = \omega C_{eq} = 0.01$$
$$\therefore C_{eq} = 100pF.$$

بيكوفاراد

ويوضح الشكل 3.8 (أ) و (ب) الدوائر المكافئة . ويجب ملاحظة ان القيم الموضحة ملائمة للتردد 15.9 ميكاهرتز فقط . وتتغير قيم العناصر المكافئة بتغير التردد ، كما موضح في المثال الاتي :

مثال 3.7 يمكن تمثيل ملف بحاثة 15.92 مابكرهنري على التوالى مع مقاومة 10 اوم . جد دائرة التوازي المكافئة للتردد (آ) 10 ميكاهرتز (ب) 20 ميكاهرتز ، افرض ان قيم عناصر التوالي ثابتة .



شكل 3.8 الدوائر المكافئة للمثال 3.6 (ا) توالى (ب) توازي .

الحل :

(أ)

$$X_L = 2\pi \times 10^7 \times 15.92 \times 10^{-6} = 1000\,\Omega .$$

ومن المعادلة (1.39)

$$G = \frac{10}{10^2 + 1000^2} \cong 10^{-5} \quad S$$

$$R_p = \frac{1}{G} = \underline{\underline{100\ k\Omega}}$$

تكون التقاية من المعادلة (1.40)

$$B = -\frac{1000}{10^2 + 1000^2}$$

$$= -1.0 \quad mS$$

ويمكن ايجاد محاثة التوازي المكافئة بتطبيق المعادلة (3.38) كالاتي :

$$B_L = -1/\omega L_{eq} = -10^{-3}$$

اذن وعند التردد 10 ميكاهرتز .

$$L_{eq} = 1/2\pi \times 10^7 \times 10^{-3}$$
$$= 15.92 \ \mu H$$

(ب) وبزيادة التردد الى 20 ميكاهرتز ، تزداد X_L الى 2000 اوم . بعطي تطبيق المعادلتين (3.39) و (3.40) الاتي :

$$G = \frac{10}{10^2 + 2000^2}$$

$$\cong \frac{10^{-5}}{4}$$

اذن

$$R_p = \frac{1}{G} = 400 \ k\Omega.$$

ومن المعادلة (3.40)

$$B = -\frac{2000}{10^2 + 2000^2}$$

$$\cong -1.0 \ mS$$

اذن تكون محاثة التوازي المكافئة هي 15.92 مايكروهنري ، ويمكن الملاحظة من هذا المثال الخاص انه في حالة وجود تغير في قيمة محاثة التوازي المكافئة التي تساوي قيمة محاثة التوالي تقريباً ، تزداد قيمة مقاومة التوازي المكافئة متناسبة مع مربع التردد تقريباً .

ويمكن اتباع الطريقة نفسها للحصول على دائرة التوالي المكافئة من دائرة التوازي . نفرض التوصيلية G على التوازي مع التقبلية B ، اذ يكون :

$$Y = G + jB$$

وتكون الممانعة المكافئة

$$Z = 1/Y$$

أو

$$R + jX = \frac{1}{G + jB}$$

$$R + jX = \frac{G}{G^2 + B^2} - j\frac{B}{G^2 + B^2}$$

اذن تكون مقاومة التوالي المكافئة هي :

$$R = \frac{G}{G^2 + B^2} \qquad ....(3.41)$$

وتكون مفاعلة التوالي المكافئة هى :

$$X = -\frac{B}{G^2 + B^2} \qquad ....(3.42)$$

مثال 3.8 :

يمكن تمثيل مكثف بمتسعة 50 بيكوفاراد على التوازي مع مقاومة فقد العازل 10 ميكااوم احسب دائرة التوالي المكافئة ، عند تردد 1.0 ميكاهرتز .

الحل :

$$G = 10^{-7}\ S$$
$$B = 2\pi \times 10^{6} \times 50 \times 10^{-12}$$
$$= 314.2\ S$$

من المعادلة (3.41) ،

$$R = \frac{10^{-7}}{15^{14} + (314.2)^2 + 10^{-12}}$$
$$\cong 1.013\ \Omega$$

ومن المعادلة (3.42)

$$x = \frac{-\ 314.2 \times 10^{-6}}{10^{14} + (314.2)^2 \times 10^{-12}} = -\ \frac{1}{314.2 \times 10^{-6}}\ \Omega$$

ولهذا ومادامت ($x = \frac{-1}{B}$) ، فليس هناك فرق واضح عن قيمة النوازي .

3.8 دائرة التوالي لـ RLC

تكون الممانعة الكلية لدائرة توالي RLC هي :

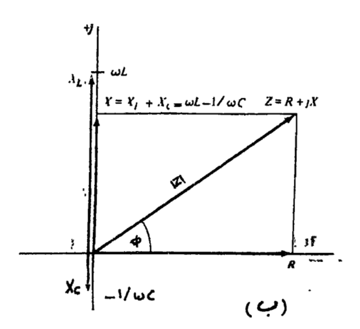
$$Z = R + j\,(X_L + X_c) \qquad ....(3.43)$$

$$= R + j\,(\omega L - 1/\omega C) \qquad ...(3.44)$$

تكون ممانعة التوالي هذه بشكل قيمة مركبة . يحوي الشكل 3.9 (أ) على الصيغة المركبة هذه مع معلومات كافية لحساب Z بصورة كاملة .

R L C

(أ)



شكل 3.9 (أ) دائرة توالي RLC (ب) مخطط ممانعة

$$|Z| = \sqrt{R + X^2} \qquad \text{----(3.45)}$$

$$\phi = \tan^{1}\left(\frac{X}{R}\right) \qquad \text{----(3.46)}$$

$$X = X_L + X_c = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

[الشكل 3.9 (ب)]

رنين التوالي وعامل الجودة .

تُنغم دائرة توالي RLC عندما تساوي زاوية الطور ϕ صفراً . ويعني ذلك ان تساوي X صفراً ايضاً . اذ ان $\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$

$$\therefore X = X_L + X_c = O$$

$$X_L = - X_c \qquad \text{أو} \quad \text{----- (3.47)}$$

ويرمز لهذا الشرط بالوسم O .

$$\omega_0 L = -(-1/\omega_0 C)$$

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \qquad \text{---- (3.48)}$$

$$\therefore \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad \text{----- (3.49)}$$

إن هذه المعادلة البسيطة والمهمة تعرّف بـ « تردد الرنين » لدائرة التوالي . وبصورة واضحة ، تكون ممانعة الدائرة في اقل قيمتها عند f_0 ، وتمثل بمقاومة نقية ، اذ

$$Zo = R + j\left(\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}\right)$$

$$= R + J\,0 \qquad \text{.... (3.50)}$$

ويمكن ضبط L او C في الدائرة لجلب الدائرة الى الرنين مع التردد المسلط وتدعى العملية « بالتنغيم » وتدعى الدائرة كذلك « بدائرة التوالي المنغمة » وتظهر ممانعة الدائرة عند الترددات الاقل من الرنين كمتسعة اذ يكون المعامل j سالباً ، وتكون حثية عند الترددات الاعلى من الرنين اذ يكون المعامل j موجباً .

إن التطبيق الواسع للدائرة المنغمة يكون في مرشح اختيار التردد الموضح في الشكل 3.10 (أ) في ابسط صورة . يتكون مدخل النظام من اشارتين جيبيتين f_0 و f،$(f \neq f_0)$ بينما يتكون تيار الخرج في الحمل R_L غالباً من اشارة بتردد f ، بشرط ان تكون R « R_L ، ويتم ترشيح الاشارة عند التردد f_0 بواسطة دائرة التوالي المنغمة عبر الخط يعتمد التأثير الذي تحدثه دائرة التوالي المنغمة على الاشارة f ، على مدى اقتراب f من f_0 على الخاصية المهمة للدائرة والتي تدعى « بالاختيارية » التي تعتمد على عامل الجودة (Q-factor) للدائرة . يمكن تعريف عامل الجودة لدائرة التوالي المنغمة بنسبة فولتية الحاثة على فولتية المقاومة عند الرنين كما يأتي :

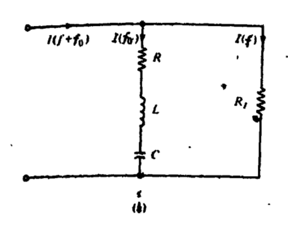
$$Q = \frac{V_L}{V_R} \qquad \text{.... (3.51)}$$

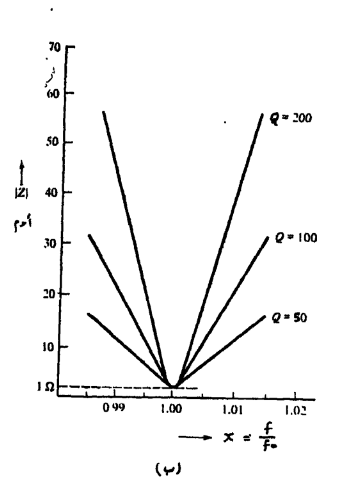
$$= \frac{\omega_0 L}{R}$$

يلاحظ ان تردد الرنين قد استعمل في تعريف عامل الجودة للدائرة المتغمة ، وعند تردد الرنين . تكون $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ ، اذن

$$Q = \frac{1}{\omega_0 CR} \qquad \text{.... (3.52)}$$

ويمكن كتابة معادلة ممانعة التوالي بدلالة عامل الجودة .





شكل **3.10** (أ) مرشح التوالي المنغم (ب) منحنيات الاختيارية لعوامل الجودة المختلفة لدائرة توالي **RLC** .

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega o C}\right)$$

$$= R\left[1 + j\left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega CR}\right)\right]$$

$$= R\left[1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_o}\frac{\omega_o L}{R} - \frac{\omega_o}{\omega}\frac{1}{\omega_o CR}\right)\right]$$

$$= R\left[1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)Q\right]$$

$$= R(1 + jyQ) \text{ where } \quad y = \frac{\omega}{\omega o} - \frac{\omega_o}{w}$$

أما القيمة المطلقة لـ Z :

$$|Z| = R\sqrt{1 + y^2 Q^2}$$

يوضح منحني الشكل 3.10 (ب) علاقة Z مع التردد $\frac{f}{fo}$ ، وكلما ازداد ضيق المنحني ، ازدادت اختيارية الدائرة . كما يلاحظ ، أن عامل الاختبارية يكون افضل عند ازدياد عامل الجودة .

تقاس الاختيارية بدلالة عرض الحزمة B_{3dB} كما يوضح الشكل 3.10 (ب) . وهذا يعود الى عرض حزمة الـ 3dB لان مستويات الممانعة $\sqrt{2}$ التابعة الى 3dB ، يخفض التيار عن قيمة الرنين عند ثبوت فولتية الادخال . ويمكن اختيار اي مستوى للممانعة لتعريف عرض الحزمة ، ولكن يكون مستوى $\sqrt{2}$ فائدة هي سهولة الحسابات الرياضية . تعود القيم المعينة y_2 الى عرض حزمة الـ 3dB وقد وجدت النقطتان f_1 و f_2 من المعادلة :

$$R\sqrt{1 + y_3^2 Q^2} = R\sqrt{2}$$

$$\therefore 1 + y_3^2 Q^2 = 2$$

$$y_3 = \frac{1}{Q}$$

يلاحظ أن $y_3 = \frac{1}{Q}$ يجب أن تكون موجبة

عند f_2 المحددة :

يلاحظ أن $f_2 > f_0$

$$y_3 = \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} = \frac{1}{Q}$$

$$\therefore f_2^2 - \frac{f_0 f_2}{Q} - f_0^2 = 0$$

$$\therefore f_2 = \frac{f_0}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_0}{2Q}\right)^2 + f_0^2} \qquad (3.57)$$

وعند f_1 معلومة :

(ملاحظة : $f_1 < f_0$ و y_0 موجبة

$$y_3 = \frac{f_0}{f_1} - \frac{f_1}{f_0} = \frac{1}{Q}$$

$$\therefore f_0^2 - \frac{f_1 f_0}{Q} - f_1^2 = 0$$

$$\therefore f_1 = -\frac{f_0}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_0}{2Q}\right)^2 + f_0^2} \qquad (3.58)$$

يمكن الحصول على عرض حزمة 3dB من المعادلتين (1.57) و (1.58) وكالآتي :

$$B_{3dB} = f_2 - f_1$$

$$= \frac{fo}{Q}$$

يوضح هذا أهمية عامل الجودة Q في تحديد الاختيارية ، اذ تولد Q العالية عرض حزمة 3dB ضيق . وتتراوح قيم Q لدوائر التوالي المنغمة بين 10-300 . ويوضح الشكل 1.10 (ب) تأثير زيادة Q على الاختيارية . وبفرض أن R قيمة ثابتة وتغير Q بتغير $\frac{L}{C}$ اذ

$$Q = \frac{\omega oL}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

3.9 دائرة التوازي المنغمة

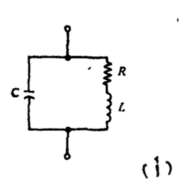
يوضح الشكل 3.12 (أ) دائرة توازي ، وقد فرضت مقاومة المتسعة بقيمة صغيرة مهملة . ولهذا يمكن كتابة مسايرة الدائرة كالآتي :

(3.61)

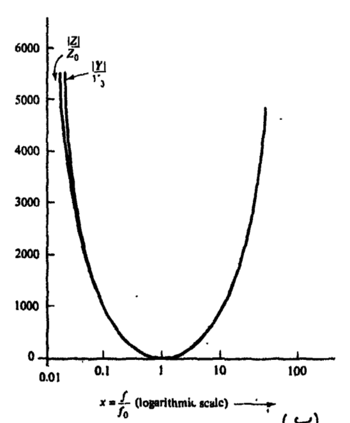
$$Y = \frac{1}{R + j\omega L} + j C$$

$$= \frac{R - j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\omega C$$

$$= \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}\right) \quad (3.62)$$



(أ)



(ب)

شكل 3.12 (أ) دائرة توازي منغمة ، (ب) منحنيات الاختيارية العامة لدوائر التوازي ـ التوالي المنغمة .

وتكون المسايرة قيمة حقيقية عند الرنين (اي يكون معامل j يساوي صفراً) .

$$\therefore\ \omega_0 C = \frac{\omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2}$$

أو

(3.63)

$$R^2 + \omega_0^2 L^2 = \frac{L}{C}$$

أو

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}$$

(3.64)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

ومن الواضح ان تردد رنين التوازي يعتمد على مقاومة الدائرة ، وهي الحالة التي لا تحدث في دائرة التوالي ، وعملياً تكون حالة $\frac{L}{C} \gg (\frac{R}{l})^2$ هي نفسها لكل من رنين التوالي والتوازي .

إن المسايرة عند تردد الرنين هي محانة نفسة وتساوي

$$Y_0 = \frac{R}{R^2 + \omega_0^2 L^2} \quad (3.65)$$

اذن ومن المعادلة (3.63) ، $R^2 + \omega_0^2 L^2 = L / C;$ اذن :

(3.66)

$$Y_0 = \frac{CR}{L}$$

وتكون المانعة عند الرنين مقاومة نقية وترمز بـ R_D وتشير الى المقاومة الحركية :

$$R_D = \frac{1}{Y_o} = \frac{L}{CR} \qquad (3.67)$$

ويكون هذا مقارباً للمانعة العليا التي حصل عليها ، ولكن لا تساويها بالضبط ، اذ يمكن استعمال التقريب من معادلة تردد الرنين ، وتنطبق المانعة العليا مع المانعة عند الرنين .

توضح النسبة $\frac{Y}{Yo}$ كيفية تغير المسايرة مع التردد نسبة الى قيمة الرنين .

وعادة تكون $(\omega^2 L^2 \quad R^2)$ بحيث يمكن تبسيط معادلة (3.62) بالنسبة لـ Y ، ويعطي استخدام المعادلة (3.66) الآتي ،

$$\frac{Y}{Y_O} \simeq \frac{L}{CR}\left[\frac{R}{\omega^2 L^2} + J\left(\omega C - 1/\omega L\right)\right]$$

$$= \frac{1}{\omega^2 LC} + j\left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega CR}\right)$$

$$\frac{\omega_o^2}{\omega^2} + jyQ \qquad (3.68)$$

اذ ان yQ هي كما اعطيت في المعادلة (3.54) ، وإن $LC = \omega_o^2$

$$\therefore |Y| = Y_o\sqrt{\left(\frac{\omega_o}{\omega}\right)^4 + (yQ)^2} \qquad (3.69)$$

يكون المنحني $|Y|$ مقابل $\frac{f}{f_0}$ لدائرة التوازي مشابهاً لمنحني $|Z|$ مقابل لدائرة التوالي كما هو موضح في الشكل 3.12 (ب) ويختلف المنحنيان عند الترددات الواطئة فقط . وقد رسم التردد بمقياس لوغاريتمي لاظهار ذلك . ويتبع ذلك اعطاء عرض حزمة الـ 3dB لدائرة التوازي بواسطة .

$$B_{3dB} = \frac{f_0}{Q} \qquad (3.70)$$

وتستخدم دائرة التوازي المنغمة كذلك كمرشح ، وذلك لاظهارها ممانعة عالية للاشارات عند تردد الرنين ، كما موضح في المثال 3.9 ويجب ملاحظة ان الممانعة الحركية R_D تسلط عند تردد الرنين . وتلاقي التيارات المستمرة مثلاً مقاومة R فقط وهي مقاومة الملف . قبل ذكر المثال 3.9 ربما يلاحظ فائدة علاقة المعادلة (3.67) لـ R_D التي يمكن اشتقاقها باستخدام المعادلتين (3.51) و (3.52) بالنسبة لعامل جودة الدائرة ، اذن :

$$R_D \doteq \frac{L}{CR} \qquad (1.67)$$

$$= \omega_0 LQ \qquad (1.71)$$

$$= \frac{Q}{\omega_0 C} \qquad (1.72)$$

$$= Q^2 R \qquad (1.73)$$

مثال 3.9 دائرة توازي منغمة لها عامل جودة تساوي 200 عندما تنغم عند 10 ميكاهرتز . وقيمة متسعة التنغيم هي 10 بيكوفاراد . أحسب (أ) الممانعة الحركية و (ب) مقاومة الـ d.c. نفرض أنها ثابتة مع التردد .

الحـــل :

(أ) بتطبيق المعادلة (3.72)

$$R_D = \frac{200}{2\pi \times 10^7 \times 10 \times 10^{-12}}$$

$$= 318\ k\Omega$$

(ب) من المعادلة (3.72)

$$R = \frac{R_D}{Q^2} = \frac{318 \times 10^3}{(200)^2} = 7.96\Omega$$

وعند الترددات الاقل من الرنين ، تكون ممانعة الدائرة حثية ، وتكون في الترددات الاعلى سعوية . يمكن تذكر ذلك بسهولة وذلك بملاحظة كون الحاثة دائرة قصر عند التردد القريب من الصفر ، وتكون التيارات حثية كافة ، وباقتراب التردد من القيمة غير المتناهية ، تقترب المفاعلة السعوية من دائرة ــ القصر مما يجعل التيار الكلي سعوياً .

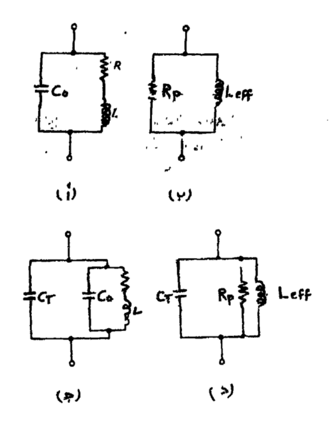
3.9.1 الرنين الذاتي للملف :

يكون للملف الحقيقي مقاومة فضلاً عن حثيته ــ الذاتية ، وكذلك سعة ــ ذاتية التي تتوزع خلال الملف . لا يمكن تمثيل الملف الحقيقي بأية دائرة بسبب طبيعة التوزيع ، ولكن يمكن تقريبها كما موضح في الشكل 3.13 (أ) ، الذي تكون فيه خواص توزيع المقاومة ، والحاثة ، والمتسعة ممثلة بعناصر مجمعة (Lumped) ، R و L و C ومن الواضح ان يسلك الملف الحقيقي سلوك دائرة التوازي المنغمة ، اي : يظهر كمحاثة عند الترددات الاقل من تردد رنينه ــ الذاتي ، وكمتسعة عند الترددات الاعلى من ذلك . ربما يستخدم تعبير المسايرة ، المعادلة (3.62) ، لدائرة التوازي لتمثيل الملف . تقريب $W^2L^2 \gg R^2$ في تبسيط المعادلة (3.62) الى :

$$Y = \frac{R}{\omega^2 L^2} + j\left(\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)$$

$$= \frac{R}{\omega^2 L^2} - j \left(\frac{1 - \omega^2 L C_0}{\omega L}\right) \qquad (3.74)$$

ويسمح هذا بتمثيل الملف بدائرة توازي كما في الشكل 3.13 (ب) . التي تطبق في الترددات الاقل من تردد الرنين ـ الذاتي للملف ،



شكل 3.13 : (أ) الدائرة المقربة للملف بضمنها المسعه ـ الذاتية ، (ب) مكافئتها التوازي عند الترددات الاقل من تردد الرنين ـ الذاتي . (جـ) دائرة توازي منغمة (د) دائرتها المكافئة ، يأخذ C_0 بنظر الاعتبار .

ويمكن الحصول على مقاومة التوازي المنفمة R_p من

$$\frac{1}{R_p} = \frac{\omega R}{\omega^2 L^2}$$

$$R_p = \frac{\omega^2 L^2}{R} \tag{3.75}$$

ويمكن الحصول على محاثة التوازي المؤثرة للملف ، L_{eff} من

$$\frac{1}{\omega L_{eff}} = \frac{-\omega^2 LC_0}{\omega L}$$

(3.76)

$$L_{eff} = \frac{L}{1-\omega^2 LC_0} = \frac{L}{1-(\omega/\omega_0)^2}$$

نفرض استخدام هذا الملف في دائرة التنغيم للشكل 3.33 (جـ) ، التي لها تردد رنين ω_T ، أقل كثيراً من الرنين ـ الذاتي ω_0 للملف (اي تكون متسعة التنغيم الخارجية $C_T \gg C_0$) . وتكون الممانعة الحركية للدائرة عند تردد الدائرة ω_T ، من المعادلة (3.71) :

$$R_D = Q\omega_T L \tag{3.77}$$

والان تظهر الدائرة المكافئة للشكل 3.13 (د) بان لها عامل جودة مؤثرة Q_{eff} ، التي يمكن استخدامها في المعادلة (3.71) مع L_{eff} لتعطي :

$$R_D = Q_{eff}\ \omega_T L_{eff} \tag{3.78}$$

ومادامت دائرتا الشكل 3.13 (جـ) و (د) متكافئتين اذن :

$$Q\,\omega_T L = Q_{eff}\,\omega_T L_{eff}$$

$$Q_{eff} = Q \frac{L}{L_{eff}} \tag{3.79}$$

وبالتعويض من المعادلة (3.77) في المعادلة (3.79) نحصل :

$$Qeff = Q(1 - \omega^2 LC_0) = Q\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right] \tag{3.80}$$

اذ ان $(Q = \omega T \quad L/R)$ وهي عامل الجودة كما عرف سابقاً ، باهمال المتسعة الذاتية . يبقى عامل الجودة ثابت تقريباً خلال مجال عريض من الترددات ، يسبب ارتفاع قيمة R عند زيادة ωL مع التردد بتأثير العامل القشري (Skin effect). اذ تبقى النسبة $R / \omega L$ ثابتة تقريباً . ومع ذلك يمكن ملاحظة ان عامل الجودة المؤثرة Qeff ينخفض بزيادة التردد اذا اخذت المتسعة الذاتية بنظر الاعتبار .

ويجب بذل بعض الاهتمام في كيفية استخدام Q_{eff} . يمكن حساب المقاومة الحركية لدائرة التوازي المنغمة في الشكل 3.13 (جـ) او (د) من احد التعبيرين للمعادلة (3.77) او (3.78) اي : اما باستخدام Q_L او L_{eff} Q_{eff} في الحسابات . ويمكن استخدام المعادلة (3.72) شرط تعويض $(C_T + Co) / Q$ أو C_T / Q_{eff} فيها . ويجب استخدام Q وليس Q_{eff} وفي حساب عرض الحزمة لدائرة التوازي المنغمة من المعادلة (3.70) .

$$\text{عرض الحزمة} = \frac{f_r}{Q} \quad \ldots . (3.81)$$

وهذا يسبب ضبط C_T عند تردد رنين معين لالغاء تأثير Co (اذ تكون C_T و Co على التوازي) . ولا تكون C_T على التوازي مع Co في حالة دائرة التوالي المنغمة . تنغم C_T بصورة فاعلة مع L_{eff} لاعطاء عامل جودة الدائرة Q_{eff} ، بحيث ان عرض الحزمة من المعادلة (3.60) يكون :

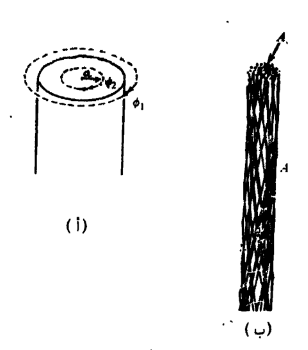
$$\text{(3.82)} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; \text{عرض الحزمة} = \frac{f_T}{Q_{eff}}$$

لدائرة التوالي ويجب ملاحظة أنه في معظم اجهزة قياس عامل الجودة . تكون الدائرة دائرة توالي منغمة إذ يشير المقياس الى Q_{eff} وليس Q .

3.10 التأثير السطحي :

تنتج القوة الدافعة الكهربائية ق . د . ك المحتثة في الملف من سرعة تغير التسرب الفيضي مسبباً مرور التيار الذي يسبب بدوره فيضاً (قانون لينز) . بفرض بصورة اعتيادية ان الفيض كله يربط الموصل بصورة كاملة . ومع ذلك ، يزداد ربط الفيض الحقيقي نحو لب الموصل اذ يربط الفبض المغناطيسي داخل الموصل بالجزء الداخلي فقط . يوصل خط الفيض Φ_1 بالموصل الكامل في الشكل 3.14 (أ) مثلا ، بينما يوصل خط الفيض Φ_2 بالجزء ذي نصف القطر a . وتكون ق . د . ك . اكبر عند مركز الموصل ، التي تولد اعلى ربط فيضي وتصبح اقل عند الاتجاه نحو المحيط الخارجي . وربما ان الـ ق د ك المحتثة تعاكس سريان التيار فتتولد اوطأ كثافة تيار عند المركز وتزداد عند الاتجاه الى المحيط الخارجي . وبالطبع تنتج كثافة التيار الواطئة عند المركز فيضاً مغناطيسياً واطئاً كذلك ، ويحاول هذا الفيض موازنة التأثير المولد للتوزيع غير المنتظم ، وبهذه الوسيلة يمكن الحصول على شروط التوازن . ومع ذلك فإن التأثير الكلي هو محاولة التيار السريان قرب سطح الموصل ، ويدعى ذلك بالتأثير السطحي . تزداد المقاومة الظاهرة للموصل بسبب تحديد التيار بمقطع اصغر من الموصل ، وتلاحظ هذه الزيادة بصورة اكبر في الموصلات السميكة وعند الترددات العالية (اذ تكون سرعة تغير الربط الفيضي عالية) ، ويساوي ذلك في الاهمية ان تصبح المقاومة معتمدة على التردد .

وغالباً مايستعمل سلك من نوع خاص في الملفات لخفض التأثير القشري ، ويدعى هذا بـ "Litzendraht" (او باختصار سلك لتز) ويصنع هذا السلك من اسلاك مجدولة ومعزولة عن بعضها وتلف بطريقة تكون فيها كل جذلة متبادلة الموضع بين المركز والحافة الخارجية . وعلى طول السلك ، كما في الشكل 3.14 (ب) وتملك كل جذلة بهذه الطريقة ق . د . ك متساوية اذ يحاول التيار ان يكون متناسقاً على طول المقطع العرضي الكامل (المكون من عدة مقاطع للجذلات المفردة) .



شكل 3:14 (أ) خطوط النبض المغناطيسي في الموصل (ب) سلك لتز (Litz) .

3.11 الحاثة المتبادلة :

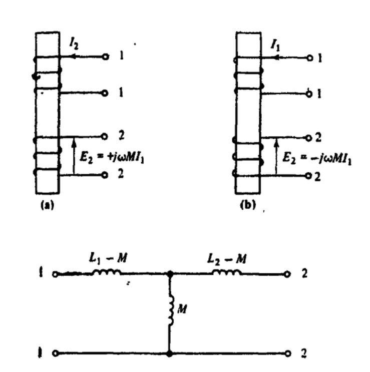
يمكن حدوث رد فعل بين الدوائر الحثية التي تكون معزولة فيزيائياً نتيجة لخطوط الفيض المغناطيسي المشتركة . يمكن أخذ هذا التأثير بنظر الاعتبار بواسطة الحاثة المتبادلة M . فاذا تغير التيار I_1 ، في الحاثة L_1 المربوطة باقتران مغناطيسي مع حاثة L_2 ، فيمكن اعطاء الـ ق . د . ك . المحتثة في L_2 بواسطة .

$$E_2 = \pm j\omega M . I_1 \qquad (3.83)$$

تعتمد الاشارة المستعملة على الموقع الفيزيائي للملفات ، وهذا ماوضح في الشكلين 3.15 (أ) و (ب) . مع ملاحظة عدم امكانية معرفة M من اللفائف فيزيائياً كما في حالة L_1 و L_2 ، ويمكن تحديدها بواسطة القياس . وقد برهن في الناحية العملية سهولة تحديد ما يدعى بعامل الاقتران K . اذ تكون :

$$M = k\sqrt{L_1 . L_2} \qquad (3.84)$$

وتتراوح قيمة K بين الصفر والواحد .



شكل 3.15 الاقتران الحثي التبادلي موضحاً الاقطاب المحتملة (أ) و (ب) و (جـ) دائرة الـ ac المكافئة .

يوضح الشكل 3.15 (جـ) دائرة مكافئة مفيدة للاقتران الحثي ـ التبادلي لحالة $j\omega M$ + . ويمكن التعرف على النهايات 1-1 و 2-2 بالنهايات العائدة في الشكل 3.15 (أ) . مع ملاحظة ان الدائرة المكافئة تكون صحيحة في حالات الـ ac فقط . ومن الواضح أن مسار الـ dc غير موجود في الدائرة الحقيقية .

وعند وجود المحاثة المتبادله بين موصلين مربوطين على التوالي ، تعطي محاثة التوالي المؤثرة بواسطة :

$$L_s = L_2 + L_2 \mp 2M \qquad (3.85)$$

وفي حالة ربطها على التوازي ، تعطي محاثة التوازي المؤثرة بواسطة :

$$L_p \quad \frac{L_1 \, L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M} \quad (3.86)$$

ويمكن خفض المعادلتين (3.85) و (3.86) الى المعادلتين (3.27) و (3.33) عندما تكون M صفراً ، وباستخدام المحاثة المتبادلة بين الملفين ، يمكن تعير المحاثة المؤثرة في خطوات بواسطة عمل توصيلات مناسبة ، من القيمة السفلى Lmin الى القيمة العليا Lmax ، اذ .

$$Lmin = \frac{L_1 \, . \, L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M} \quad ....(3.87)$$

$$Lmax = L_1 + L_2 + 2M \quad ....(3.88)$$

والاكثرمن ذلك ، اذا جعلت M متغيرة مثلا ، يمكن الحصول على محاثة متغيرة بصورة منتظمة بواسطة تغير المسافة الفيزيائية بين الملفات .

3.12 دوائر الاقتران

يتطلب انتقال الاشارة من دائرة الى اخرى غالبا الى دائرة اقتران بدلا من الربط المباشر . يستخدم بصورة واسعة اقتران المحولة التي نستغل تأثير المحاثة ـ المبادلة ، ويمكن شرحها بصورة مستقلة في مجالين واسعين : (1) مجال الترددات الواطئة (ترددات القدرة والتردد المسموع مثلا) و (2) مجال الترددات العالية (الترددات الراديوية مثلاً) . ان التفاصيل العملية لهذه الدوائر مختلفة بصورة كبيرة مما يتطلب طرقاً مختلفة في تحليلها . على الرغم من اعتماد الطريقتين على الاقتران الحثي التبادلي .

محولات التردد الواطيء :

يربط الفيض المغناطيسي ϕ باجمعه والناتج من الامبير ـ لفة للابتدائي مع لفيفة الثانوي (او لفائف الثانوي ، اذا وجد اكثر من لفه واحدة) وذلك في حالة محولة التردد الواطيء المثالية . يمكن اهمال هبوط الفولتية في لفائف الابتدائي والثانوي . في الحالة النموذجية كذلك . كما يمكن اهمال فقد القدرة في اللب المغناطيسي .

تكون فولتية الابتدائي المسلطة V_p ، تحت هذه الظروف ، مساوية للـ ق.د.ك المحتثة في لفيفة الابتدائي ذات N_p لفة التي نعطي حسب قانون فارادي في الحث المغناطيسي .

$$V_p = N_p \cdot \frac{d\phi}{dt} \qquad \ldots(3.89)$$

وبصورة مشابهة ، وباهمال هبوط الفولتية في لفيفة الثانوي ، تكون الـ ق.د.ك . المحتثة في الثانوي E_S ، مساوية لفولتية نهاية الثانوي V_S . اذ أن :

$$V_S \cong E_S = N_s \cdot \frac{d\phi}{dt} \qquad \ldots(3.90)$$

ويتبع ذلك اذن أن يكون .

$$n = \frac{Vp}{Vs} = \frac{Np}{Ns}$$

$$\ldots(3.91)$$

اذ ان ($n = \frac{Np}{Ns}$) وتمثل نسبة اللفات .

وعند تحميل الثانوي بحيث يسحب تيارا I_s . فيجب أن يتوازن الامبير ـ لفة للثانوي $N_S I_S$ للامبير ـ لفة في الابتدائي $N_p I_p$ (والا نتج من عدم التوازن تغيراً في التيار المحتث في الاتجاه الذي يبعد التوازن) . ويتبع ذلك :

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$= \frac{1}{n} \quad ....(3.92)$$

وبصورة واضحة ، يكون $V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$ من المعادلتين (3.91) و (3.92) المتوقعة في الحولة النموذجية .

يمكن نقل الحمل Z_L المربوط بالثانوي الى جهة الابتدائي بشكل Z_L بالطريقة الآتية . يكون حمل الثانوي الموضح في الشكل 3.16 (أ) هو :

$$Z_L = \frac{V_s}{I_s} \quad ....(3.93)$$

ويكون الحمل كما يرى بين نهايتي الابتدائي هو :

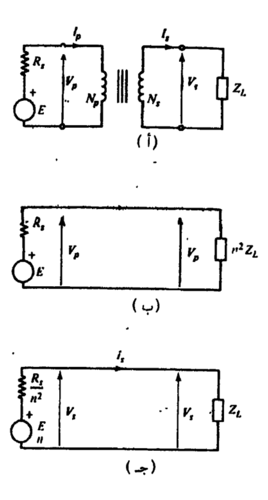
$$Z'_L = \frac{V_p}{I_p} \quad ....(3.94)$$

وبتعويض V_p و I_p من المعادلتين (3.91) و (3.92) ، واستخدام العلاقة في المعادلة (3.93) و (3.94) يمكن تحويل Z'_L الى :

$$Z'_L = n^2 \; Z_L \quad ....(3.95)$$

وتكون هذه العلاقة صحيحة الى حد ما في الحسابات العملية و يمكن اثبات فائدتها على الرغم من اعتمادها على الحولات النموذجية .

وباستخدام الحجة نفسها ، يمكن تحويل مصدر فولتية الـ ق . د . ك (E) والمقاومة الداخلية R_s الى الثانوي بحيث يظهر الحمل مزوداً من مصدر ق . د . ك بقيمة $\frac{E}{n}$ ، ومقاومة داخلية $\frac{R_s}{n^2}$ ، كما في الشكل 3.16 (جـ) .



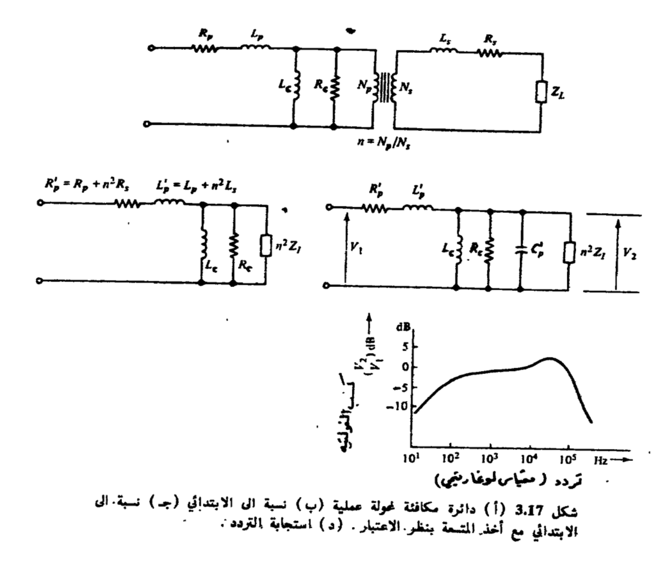
شكل **3.16** · محولة نموذجية للتردد ـ الواطيء . (أ) الدائرة (ب) الدائرة بالنسبة للابتدائي (جـ) الدائرة بالنسبة للثانوي .

يوضح الشكل **3.17** (أ) نموذجاً لدائرة محولة عملية للتردد ـ الواطيء ، ففي المحولة العملية ، تكون هناك حاجة الى تيار ابتدائي صغير للحصول على الفيض المغناطيسي في اللب . ويمكن تمثيل هذا بمحاثة L_c على التوازي مع الابتدائي في النموذجي ، كما ان هناك تياراً ـ دوامياً وفقد التخلفية في اللب . تعتمد هذه الفقود على فولتية الابتدائي ولا تعتمد على قيمة التيار . يمكن تمثيلها بمقاومة R_c على التوازي مع الابتدائي النموذجي . تملك كل لفيفة مقاومة اومية التي تمثل بـ R_p للابتدائي و R_s للثانوي . تولد كل لفيفة تحمل تياراً كمية معينة من الفيض المغناطيسي التي لاترتبط مع اللفائف الاخرى ، ويدعى هذا بالفيض التسربي **"Leakage flux"** ويمثل تأثيره بالمحاثتين L_p و L_s .

ويمكن اعادة رسم الدائرة المكافئة للشكل 3.17 (أ) مع ادخال كافة العناصر نسبة الى احدى جهتي الإبتدائي أو الثانوي ، كما ذكر سابقاً . ويوضح الشكل 3.17 (ب) الدائرة العائدة الى الابتدائي .

ومن الضروري اخذ المتسعة الذاتية للفائف والمتسعات المتبادلة بينها بنظر الاعتبار عند الترددات ـ العالية ويوضح الشكل 3.17 (جـ) الدائرة المكافئة العائدة الى جهة الابتدائي مع اخذ C'_p بنظر الاعتبار والتي تساوي التأثيرات السعوية كافة . كما يوضح الشكل 3.17 (د) منحني كسب الفولتية مقابل التردد للمحولة . يحدث انخفاض في الكسب عند الترددات الواطئة بسبب L_c . اذ تظهر L_c و C'_p دائرة رنين توازي عريضة الاستجابة (عامل جودة منخفض) . بينما يهمل تأثير C'_p دائرة رنين توازي عريضة الاستجابة (عامل جودة منخفض) . بينما يهمل تاثير L_p . يكون منحني الاستجابة مسطحاً بصورة معقولة في مجال حزمة الوسط . وتظهر L'_p و C'_p عند الترددات العالية دائرة رنين توازي منتجة ذروة في منحنى الاستجابة . ويسبب تأثير C'_p بعد هذه النقطة في انخفاض الكسب .

يجب التذكر ان الدوائر المكافئة تكون صحيحة في اشارات الـ ac فقط ، ولا يمكن استعمالها عند تحليل دوائر الـ dc مثلا .

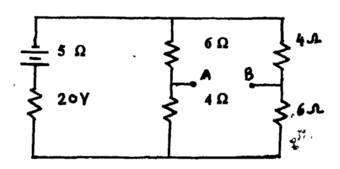


شكل 3.17 (أ) دائرة مكافئة لمحولة عملية (ب) نسبة الى الابتدائي (جـ) نسبة الى الابتدائي مع أخذ المتسعة بنظر الاعتبار . (د) استجابة التردد .

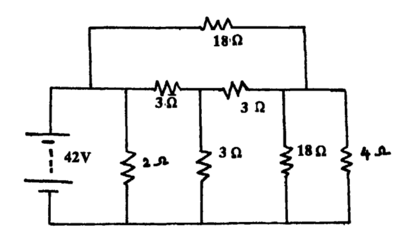
اسئلة الفصل الثالث
الدوائر الكهربائية

مسائل

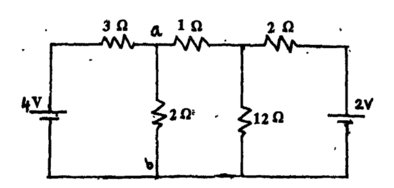
1 ـ للشبكة المبينة في الشكل ادناه احسب فرق الجهد بين النقطتين A ، B ثم احسب مقدار واتجاه التيار الذي يمر في المقاوم 3.1 اوم المربوط بين A ، B.



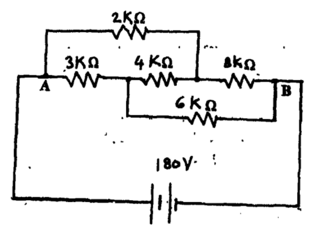
2 ـ احسب تيار البطارية والتيار في المقاوم 4 اوم في الشبكة الكهربائية المبينة في الشكل ادناه.



3 ـ مستخدماً نظرية التراكيب ، اوجد التيار المار في الفرع ab في الشبكة الكهربائية المبينة .

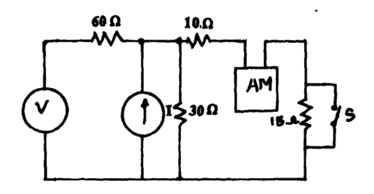


4 ـ جد التيار الذي يمر في المقاومة 4kΩ. في الشبكة الكهربائية المبينة بتطبيق نظرية ثقنن .



5 ـ فولتية الدائرة المفتوحة لمولد ذبذبة سمعية تساوي 5 فولت ، وعندما يوصل مولد الذبذبة الى مقاومة 2000 أوم تنخفض الفولتية بين طرفي المولد الى 4 فولت . ماهي قيمة المقاومة الداخلية للمولد .

6 ـ في الشكل المبين يقرأ الاميتر (AM) 3 امبير عندما يكون المفتاح S مغلقاً ماهي قراءة الاميتر عندما يكون المفتاح S مفتوحاً .

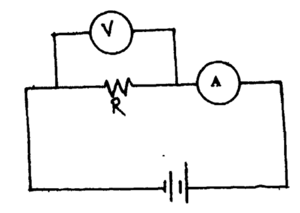


7 ـ سجلت قراءات الكميات الخارجة لمولدين وكانت كالتالي .

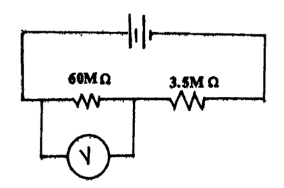
I(A)	0	25	50	75	100
V_1 (V)	120	119	117	113	105
V_2 (V)	120	118	113	105	90

ثم ربطت المولدتان على التوازي لتغذية حمل مقاومته 1 أوم ارسم الخواص (منحني I مع V) ثم احسب التيار والقدرة الخارجة من كل مولدة على حدة بطريقة تخطيطية .

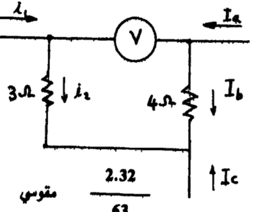
8 ـ اذا علمت ان قراءة الفولتميتر في الدائرة المبينة في الشكل كانت 60 فولت وان قراءة الأميتر كانت 90 ميكروامبير . فما قيمة المقاومة R علماً بأن مقاومة الفولتميتر 2×10^6 اوم .



9 ـ ربط فولتميتر مقاومته 2 ميكاأوم في الدائرة المبينة في الشكل فسجل قراءة قدرها 15 فولت احسب
أ ـ القوة الدافعة الكهربائية للمصدر
ب ـ القدرة التي يزودها المصدر للدائرة .

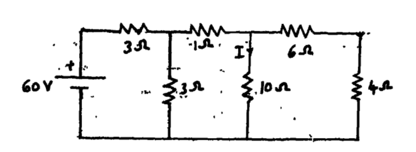


10 ـ في الشكل ادناه $I_a = -4A$ ، $I_c = +1A$ ، $V = 18V$ اوجد i_1 ، i_2 ، I_b

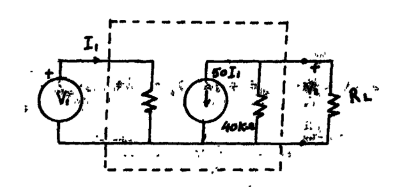


11 ـ اوجد التيار I في الشبكة السلمية المبينة باستخدام الطريقة التالية :

افرض ان التيار يساوي 1A ثم احسب بطريقة عكسية فولتية المصدر اللازمة لذلك وبالتالي يمكن حساب I بعلاقة تناسب بسيطة .



12 ـ في الشكل يمثل الجزء المظلل نموذج دائرة لترانزستر . لاحظ ان $50I_1$ هو قيمة مصدر التيار استبدل الدائرة بمكافيء نورتن ثم احسب كسب الفولتية $\frac{V_2}{V_1}$ عندما تكون $R_2 = 3k\Omega$.



٤

اجهزة قياس التيار المستمر

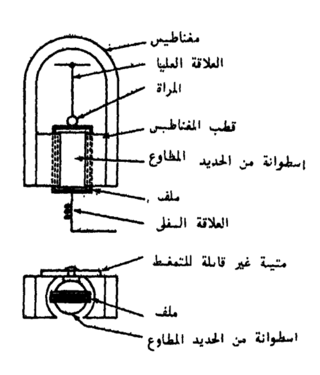
يمكننا بواسطة أجهزة القياس معرفة قيمة الكميات الكهربائية بصورة مباشرة وذلك بمؤشر القياس عند اجراء القياس او قراءة رقم يوضح قيمة الكمية بصورة مباشرة . او من لوحة الرسم الالكتروني . . . وغيرها وهناك أسس كثيرة لاشتغال المقاييس الكهربائية يعتمد قسم منها على تأثيرات مغناطيسية او كهربائية مغناطيسية او تأثيرات فيزياوية اخرى وعادة تؤشر قياس كميات التيار او الفولتية او المقاومة الى غير ذلك من الكميات الكهربائية .

4.1 الكلفانوميتر :

هو الجهاز الذي يستخدم للكشف عن التيار او لقياس كميته والاستخدام الاول هو الشائع خاصة عند استعمال الجهاز في القناطر الكهربائية او في الجهاد الكهربائي حيث يكون الغرض من استخدام الكلفانوميتر هو الحصول على حالة التعادل ولا يُنظر عند ذلك الى قيمة التيار .

تعتمد أغلب أجهزة الكلفانوميتر في أدائها على العزم الزاوي الذي يسببه مرور التيار في ملف يقع في مجال مغناطيسي دائم وان أشهر أنواع الكلفانوميتر هو النوع المعلق والشكل (4.1) يبين تكوينه واجزاءه الرئيسة .

يتكون الجهاز من ملف مصنوع من سلك رفيع معلق في مجال مغناطيسي يولده مغناطيس دائم وبموجب القوانين الكهرومغناطيسية فانه نتيجة لمرور تيار في الملف الكائن ضمن المجال المغناطيسي تؤثر قوة تدوّر الملف ثم يثبت عندما



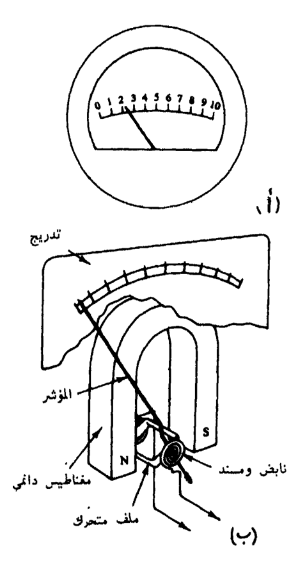
الشكل 4.1 يبين اجزاء الكلفانوميتر المتحرك الملف للتيار المستمر.

تتعادل مع القوة الميكانيكية للنابض . لذا فأن انحراف الملف دليل على كمية التيار المار به . وللنابض واجب آخر فضلاً عن معادلة قوة دوران الملف الا وهو امرار التيار الكهربائي ايضاً . وكما يلاحظ من الشكل يمكن ملاحظة شدة التيار المقاس من حركة البقعة المضيئة التي تنعكس من المرآة المثبتة على الملف وإن هذه الحركة تقابل دوران المؤشر الاعتيادي الآ أن البقعة أفضل من المؤشر لانعدام وزنها . ولا يزال جهاز الكلفانوميتر مستخدماً حتى الآن في بعض المختبرات بسبب حساسيته العالية . أما مساوئه فهي صعوبة الاستخدام والتحريك في امكان الى آخر ويحتاج الى مدة كبيرة لتهيئته للعمل .

4-2 انحراف الكلفانوميتر والحساسية :

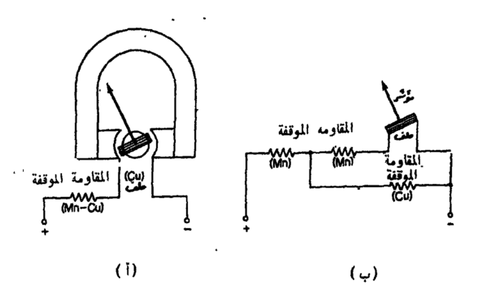
على الرغم من ان جهاز الكلفانوميتر غير مستخدم الا أن المتطور منه والذي يسمى بجهاز الملف المتحرك في مجال ثابت **Permanent Magnet**

Moving Coil والمسمى احيانا بجهاز (دى ارسنفال D'Arsonval) نسبة الى العالم الذي أوجده والموضح في الشكل (4.2) حيث هناك ملف معلق في مجال مغناطيسي ويمكن ان يتحرك بحرية في المجال المغناطيسي . فعندما يمر تيار في الملف يتولد عزم كهرومغناطيسي يعمل على تدوير الملف ثم تتوازن هذه الحركة بنابض حلزوني متصل بالملف ويتحرك المؤشر فوق تدريج ثم يعود للصفر عند زوال التأثير الكهرومغناطيسي بسبب استعادة النابض الحلزوني للعزم الذي اختزنه عند دوران المؤشر .



الشكل 4.2 يبين مكونات جهاز دي ارسنفال ذو الملف المتحرك .

ويلاحظ من الشكل (4.2) وجود اثقال مثبتة على المؤشر لجعل حركة المؤشر بطيئة ومنتظمة واكثر استقراراً حيث بدونها سوف يقفز المؤشر مرة واحد الى قيمة التيار ولا يمكن الثبوت عند تلك القيمة بسبب القصور الذاتي الذي سببته حركة المؤشر السريعة وعندها يقوم المؤشر بالتذبذب عند تلك القيمة التي يستقر فيها وربما يستغرق ذلك مدة طويلة من الزمن . ويمكن استخدام معوقات اخرى لتنظيم حركة المؤشر وتجعله يثبت في زمن قصير كمخمدات الحركة الزعنفية او الموقفات الحرارية او المغناطيسية والمبينة في الشكل (4.3) .



الشكل 4.3 ربط الموقفات الحرارية للسيطرة على حركه المؤشر وتثبيته بزمن قصير
أ ـ دائرة بسيطة المقاومة الموقفة على التوالي
ب ـ دائرة منظورة المقاومات ربط مختلط

قانون عزم الدوران :

$$T = BAIN \qquad (4.1)$$

اذ تمثل T العزم ووحدته هي نيوتن ـ متر وتمثل B كثافة التدفق المغناطيسي ووحدتها ويبر/ متر مربع و A مساحة الملف ووحدته متر مربع و I تيار الملف ووحدته الامبير و N عدد لفات الملف .

ويلاحظ من القانون بان عزم دوران الملف يتناسب مع التيار $T \propto I$ لان باقي الكميات ثابتة .

وبما ان عزم دوران النابض يتناسب مع زاوية المؤشر وان عزم دوران النابض يعادل عزم دوران الملف . $\therefore \theta \propto I$

اي ان زاوية دوران المؤشر تحدد قيمة التيار.وان تدريج المقياس يكون منتظم القراءات .

4.2.1 حساسية الكلفانوميتر :

ان حساسية الجهاز هي نسبة المدى الذي يتحركه المؤشر مقاساً بالملمتر الى قيمة القراءة الحقيقية سواء اكانت تياراً او فولتية او غير ذلك .
ويمكن تعربف حساسية التيار بالمعادلة :

$$S_I = \frac{d}{I} \qquad (4.2)$$

حيث S_I حساسية التيار ووحدتها ملمتر لكل أمبير أو لكل مايكرو أمبير و d مقدار انحراف المؤشر و I قيمة التيار بالامبير او المايكروامبير .
وكذلك الحال بالنسبة الى حساسية الفولتية .

$$S_V = \frac{d}{V} \qquad (4.3)$$

مثال : **4.1**

في مقياس الكلفانوميتر ، كان تيار اقصى انحراف مار في الملف يساوي 1.2 ميكروامبير احسب حساسية التيار عندما يكون الانحراف المؤشر 75 ملم و 150 ملم على التعاقب

الحل :

من تعريف حساسيه التيار :

$$S_I = \frac{d}{I}$$

ففي الحالة الاولى تكون قيمة الحساسية :

$$SI_1 = \frac{75}{1.5} = 50 \ mm \ / \ \mu A$$

وفي الحالة الثانية تكون قبمة الحساسية :

$$SI_2 = \frac{150}{1.5} = 100 \ mm \ / \ \mu A.$$

مثال : 4.2

كثافة التدقيق في الفجوة الكهربائية بين قطبي المغناطيس الدائم في جهاز قياس التيار 0.1 وبير/ متر مربع وابعاد الملف المسنطيل هي 1X0.8 سنتمتر وبعدد من اللفات يساوي 50 لفة . احسب العزم اللازم ليقرأ المقياس اقصى قراءة له (0.1 ملي امبير) علماً بان عزم الانحراف ذو سيطرة نابضية .

الحل :

باستخدام العلاقة : (4.1)

$$T = BAIN$$

وبتعويض القيم المعطاة نحصل على :

$$T = 0.1 \times 0.8 \times 1.0 \times 10^{-4} \times 0.1 \times 10^{-3} \times 50$$
$$= 4 \times 10^{-8} \ N\text{-}m$$

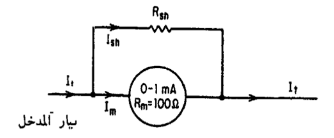
4.3 مقياس التيار المستمر :

يعتمد عمل معظم مقاييس التبار المستمر على اساس واحد وهو اساس اشتغال المحرك الكهربائي حيث أن الملف الكائن في مجال مغناطيسي دائم يشرع بالدوران عند مرور تيار فى ملفاته ويدعى ذلك كما لاحظنا سابقاً بكلفانوميتر

نوع دي ارسنغال . وان هذا الاساس يختلف تماما عن المقاييس الالكترونية والتي سيتم شرحها في فصول لاحقة .

ويمكننا تحوير هذا المقياس الاساسي الى مقياس تيار او فولتية او مقاومة او الى مقياس متعدد القراءات . ونظراً لما لهذا المقياس من تحمل محدود للتيار بسبب دقة اسلاك الملف ولجعل المقياس يقوم بقراءة تيارات عالية نضيف مقاومة على التوازي (مجزىء مقاومي) مع الملف لتمرير نسبة عالية من التبار المراد قياسه وتبقى القيمة التي يتحملها المقياس تمر في الملف كما موضح في الشكل (4.4) فمثلاً اذا اردنا جعل مقياس (مقاومة ملفه **100** اوم وتياره **0.001** أمبير لقباس التيارات من الصفر الى **1.0** امبير فبحب حرف **0.999** امبير او **999** ملي أمبير عن المرور خلال الملف وذلك باستخدام المقاومة المجزئة R_{sh} وجعل القيمة المتبقبة من التيار **0.01** أمبير فقط تمر من خلال الملف لكي يقوم المقياس بقراءة أقصى تدريج له . وبلاحظ من الشكل بأن المقاومة المجزئة والملف يربطان على التوازي . علـه فإن الفولتية عبرهما متساوية وان قبمة الهبوط في الفولتية عبر مقاومة الملف والمقاومة المجزئة تساوي $IR = 1mA \times 100 = 100mV$ وعلى هذا الاساس فإن قيمة المقاومة المجزئة يحددها مرور **999** ملي أمبير فيها وعلى أن تكون الفولتية الناتجة من ذلك **100** ملي فولت او **0.1** فولت . وعليه فإن حساب قيمة R_{sh} يكون .

$$R_{sh} = \frac{E}{I} = \frac{0.1\ V}{0.999\ A} = 0.1\,\Omega$$



الشكل **4.4** ربط المجزئه مع الملف المتحرك لتحويره الى امبير بقرأ **0-1A**

وتكون النتيجة هي أن مرور التيار مقداره 1000 ملي امبير في الدائرة يعني مرور 999 ملي امبير خلال المقاومة الجزئة و 1 ملي امبير خلال ملف الجهاز حيث سيؤشر مؤشر المقياس أقصى تدريج له ومقداره 1000 ملي أمبير .

يمكن الحصول على قيمة المقاومة الجزئة R_{sh} المطلوبة لمدى آخر من القراءة من العلاقة الاساسية لتقسيم التيار المبينة على الحقيقة المعوفة وهي أن التيار الاقل لمقاومتين متوازيتين يمر في المقاومة الاكبر ويمكن أن يكون التعبير الرياضي الآتي حيث أن I_m هي تيار المقياس و I_t هي التيار الكلي :

$$I_m = I_t \left(\frac{R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right) \quad (4.4)$$

وبالتعويض للقيم التي ذكرت في المثال السابق نلاحظ أن :

$$\frac{1}{1000} = 1 \left(\frac{R_{sh}}{100 + R_{sh}} \right)$$

حيث : $1000\ R_{sh} = 100 + R_{sh}$

$$999\ R_{sh} = 100$$

ومنها نحصل على :

$$R_{sh} = \frac{100}{999} = 0.1\ \Omega$$

ونتيجة لذلك فأن المقاومة 0.1 أوم المربوطة عبر المقياس سوف تغير قراءة أقصى تدريج من ملي أمبير الاصلية الى 1 أمبير . وكذلك يمكن معرفة مديات لتيارات اخرى بابدال قيمة المقاومة الجزئة او ادخالها للدائرة بواسطة مفتاح خاص .

مثال : 4.3

مقياس في نوع ذي الملف المتحرك مقاومته الداخلية 100 أوم وتياره 1 ملي امبير يطلب تحويله الى أميتر يقرأ من الصفر الى 100 ملي أمبير . احسب قيمة المقاومة المجزبة اللازمة لذلك .

الحل :

بتطبيق العلاقة السابقة (4.4)

$$I_m = I_t \left(\frac{R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right)$$

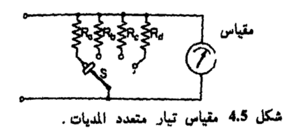
$$1 = 100 \left(\frac{R_{sh}}{100 + R_{sh}} \right)$$

$$R_{sh} = 1.01 \ \Omega$$

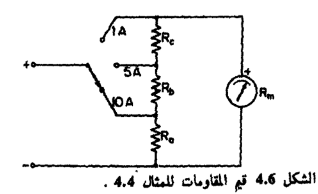
ومن الجدير بالذكر أن نذكر هنا ان المقاومة المجزئة يجب أن تكون ذات تحمل عالٍ للتيار وان تكون مقاومتها ثابتة رغم تغير الحرارة بسبب مرور التيار خلالها . لذا تصنع من مادة المنغنين او الكونيستاتان ذات المقاومة العالية جداً .

مقاومة ايرتون المجزئة : Ayrton Shunt

يمكن زيادة قيمة التيار المستمر المار في المقياس بعدد من المرات وذلك باستخدام عدد من المقاومات المجزئة والتي يتم اختيارها بمفتاح دوراني ، يبين الشكل (4.5) مخططاً توضيحياً لمقياس التيار المتعدد المديات . تحوى الدائرة اربع مقاومات R_a ، R_b ، R_c ، R_d
والتي يمكن ان توضع على التوازي مع الملف المتحرك ليعطي اربع مديات مختلفة بالمفتاح S الذي يغلق قبل ان يفتح لكي لا يعطب الملف غير المحمي في الدائرة . ان جهاز ايرتون العام يقضي على امكانية تكوين مقياس بدون مقاومة عرضية وان هذه الفائدة تأتي على حساب مقاومة كلية اعلى قليلاً . ويساعد هذا الجهاز في تطبيق نظريات واسس الدوائر في الدوائر العملية .



شكل 4.5 مقياس تيار متعدد المديات .



الشكل 4.6 قيم المقاومات للمثال 4.4 .

مثال : (4.4)

صمم جهاز ايرتون العرضي لتكوين اميتر يحوي المديات 1A و 5A و 10A علماً بان المقاومة الداخلية لملف دى ارسنفال الدوار $R_m = 50\Omega$. وان انحراف تيار التدريج الكامل هو 1mA كما في الشكل (4.6) .

الحل :

تكون المقاومات $R_a + R_b + R_c$ في المدى 1 امبير على التوازي مع المقاومة $R_m = 50\Omega$ وبما ان الملف المتحرك يحتاج 1mA لانحراف تدريج كامل فإن المقاومة العرضية اللازمة لتمرر التيار $1A-1mA = 999mA$ وباستخدام فولتية التوازي الثابتة نحصل على :

$$R_a + R_b + R_c = \frac{1 \times 50}{999} = 0.05005 \quad ...I$$

وفي المدى SA تكون المقاومتان $R_a + R_b$ على التوازي مع المقاومتين R_m + R_c وفي هذه الحالة هناك تيار 1mA خلال الملف المتحرك والمقاومة R_c على التوالي. والتيار 4,999mA خلال $R_a + R_b$ باستخدام فولتية التوازي مرة اخرى نحصل على :

$$R_a + R_b = \frac{1 \times (R_c + 50)}{4,999} \quad \ldots \text{II}$$

وعلى المدى 10A فإن R_a تعمل كمقاومة على التوازي مع الملف وان R_c + R_b فانها على التوالي مع الملف . وان التيار خلال الملف هو 1mA والتيار العرضي الباقي الذي سيمر هو 9.999mA باستعمال فولتية التوازي نحصل على :

$$R_a = \frac{1 \times (R_b + R_c + 50)}{9,999} \quad \ldots \text{III}$$

وبحل المعادلات الثلاثة I و II و III نحصل على :

$4,999 \times (I) : 4,999\ R. + 4,999\ R_b + 4,999\ R_c = 250.2$

$(II): \quad .4,999\ R_a + 4,999\ R_b - R_c = 50$

وبطرح II من I نحصل على :

$500\ R_c = 200,2$

$R_c = 0.04004\ \Omega$

وبشكل مشابه :

$9,999 \times (I): 9,999\ R_a + 9,999\ R_b + 9,999\ R_c = 500.45$

$III : 9,999\ R_a - R_b - R_c = 50$

بطرح III من I نحصل على :

$10,000\ R_b + 10,000\ R_c = 450.45$

بتعويض قيمة R_c التي حصلنا عليها سابقاً في هذا التغيير ينتج :

$$10{,}000\ R_b = 450{,}45 - 400{,}4$$
$$R_b = 0.005005\ \Omega$$
$$R_a = 0.005005$$

إن هذه الحسابات توضح أن المقاومة العرضية يمكن أن تكون أصغر عندما يكون التيار أعلى وبشكل عام فأن مقياس التيار d.c يمكن أن يوجد في مديات كثيرة من 20μA الى 50A تدريج كامل لمقياس واحد وحتى لغاية 500A مع مقاومات عرضية خارجية .

ويجب أخذ التحاذير الآتية بنظر الاعتبار حين استخدام مقياس التيار في القياس .

أ ـ يجب عدم ربط المقياس عبر مصدر فولتية بسبب مقاومته الداخلية الواطئة لأن الجهاز سيسحب تياراً عالياً يؤدي الى تلف ملفاته . لذا يجب ربط مقياس التيار على التوالي مع حمل مناسب لتحديد قيمة التيار .

ب ـ لاحظ القطبية الصحيحة علماً بأن عكس القطبية يؤدي الى حركة أجزاء المقياس ضد الموقف الميكانيكي وهذا يسبب عطب الجهاز او انحرافاً في المؤشر .

جـ ـ عند استعمال مقياس التيار المتعدد المديات ، استخدام التدريج العالي اولاً ثم قلل مدى التيار الى أن تحصل على انحراف مناسب للمؤشر ثم استخدم المدى الذي يجعل المؤشر قريباً من قراءة أعلى مدى من ذلك التدريج .

4.4 مقياس فولتية .d.c :

كما ذكرنا سابقاً بأن فكرة مقياس الفولتيات المختلفة يمكن أن تتحقق باستخدام المقياس الاساسي نوع الملف المتحرك دي ارسنفال باضافة مقاومات على التوالي مع ملف المقياس ذات قيم تتناسب وقيمة الفولتية المراد قياسها ويتم إيجاد قيمة هذه المقاومة من معرفة الحساسية والتي تعرف عادة بالاوم لكل فولت وتكون قيمة الحساسية 20,000 للمقياس الذي مداه من الصفر الى 50 ميكرو

أمبير حيث أن الحساسية تعادل مقلوب المدى . وعلى هذا الاساس فأن المقياس الذي يقرأ من الصفر الى 1 ملي أمبير يعني أن المقياس يتحمل 20 مرة اكثر من المقياس الذي تحمله 50 ميكروأمبير وعليه فإن حساسيته تكون عشرون مرة اقل

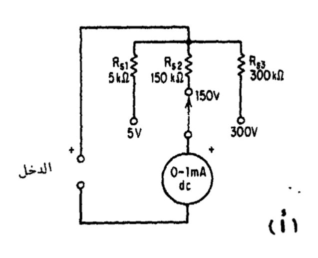
أي

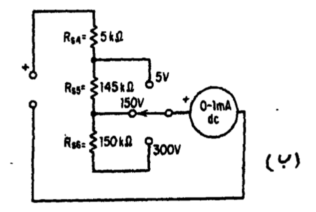
$$\frac{1}{20} \times 20{,}000 = 1000 \ \Omega/V$$

ولو بدأنا الآن بالمقياس الاساسي الذي تدريجه من الصفر الى 1 ملي أمبير ومقاومته 100 أوم والذي ذكر في الفقرة السابقة فأن الجهاز اذا استخدم لقياس فولتية سيكون أقصى تدرج له 100 ملي فولت لانها تساوي $1mA \times 100V$ وبدون اضافة لأي مقاومة على التوالي سيكون مثل هذا المقياس للفولتية محدود الاستخدام جداً بسبب مقاومة دخله الواطئة وقيمتها 100 أوم ولذا فانها ستسحب معظم تيار الدائرة . وعليه فأن المقاومة المناسبة للجهاز عند تحويله من مقياس تيار ذي مدى يتراوح بين الصفر الى 1 ملي أمبير الى فولتميتر يقرأ من الصفر الى 5 فولت هي :

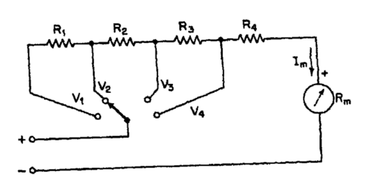
$$R_t = \frac{5\ V}{1 \times 10^{-3}\ A} = 5\ k\Omega$$

وبما أن مقاومة المقياس 100 أوم قليلة نسبياً بالمقارنة مع 5000 أوم يتمكن استخدام مقاومة ضربية أي التي تربط على التوالي مع المقياس قيمتها $5k\Omega$ كما مبين في الشكل (4.7) ويمكن ايضاً ايجاد قيمة هذه المقاومة بضرب قيمة حساسية الجهاز $1000\Omega/V$ بقيمة المدى المطلوب 5V معطية النتيجة $R_{s_1} = 5k\Omega$ كما هي النتيجة السابقة وبالطريقة نفسها اذا كان المدى المطلوب 150V فإن المقاومة الضربية R_{s_2} ستكون $150k\Omega$ وللمدى 300V فأن قيمة $R_{s_3} = 300k\Omega$ كما يلاحظ من الشكل (4.7) حيث يمكن اختيار المدى المطلوب بواسطة مفتاح الاختيار الدوار وتصبح قيم المقاومات R_{s_4} ، R_{s} ، R_{s_6} كما موضحة وهي $5k\Omega$ ، $145k\Omega$ ، $150k\Omega$ على التعاقب





الشكل 4.7 أ ـ المقاومات الضربية بصورة منفردة
ب ـ المقاومات الضربية مشتركة على التوالي



الشكل 4.8 دائرة المثال (4.4)

مثال (4.4)

جهاز دى ارسنفال الاساسي فيه المقاومة الداخلية $R_m = 100\Omega$ وتيار التدريج الكامل $I_{fsd} = 1mA$ يطلب تحويلها الى فولتميتر متعدد المديات :

0-500 V, 0-250 V, 0-50 V, 0-10 V

الدائرة في الشكل (4.8) هي المستعملة لهذا القباس .

المدى 10V فإن موقع المفتاح هو في V_4 وان المقاومة الكلية للدائرة هي :

$$R_T = \frac{10\ V}{1\ mA} = 10\ k\ \Omega$$

$$R_4 = R_T - R_m = 10k\Omega - 100\Omega = 9900\Omega$$

المدى 50 V فإن موقع المفتاح هو في V_3

$$R_T = \frac{50\ V}{1\ mA} = 50\ k\Omega$$

$$R_3 = R_T - (R_4 + R_m) = 50\ k\Omega - 10\ k\ \Omega$$
$$= 40\ k\Omega$$

المدى 250 V (موقع المفتاح في V_2)

$$R_T = \frac{250\ V}{1\ mA} = 250\ k\Omega$$

$$R_2 = R_T - (R_3 + R_4 + R_m)$$
$$= 250\ k\Omega - 50\ k\Omega = 200\ k\ \Omega$$

وللمدى (500 V) فإن موقع المفتاح (V_1)

$$R_T = \frac{500\ V}{1\ mA} = 500\ k\Omega$$

$$R_1 = R_T - (R_2 + R_3 + R_4 + R_m)$$
$$= 500 - 250 = 250\ k\Omega$$

لاحظ في المثال (4.4) أن مقاومة مضاعف القراءة الواطئة المدى (R_4) هي الوحيدة غير قياسية .

4.4.1 حساسية مقياس الفولتية : Voltmeter Sensitivity ووحدتها (أوم لكل فولت)

بينا في الفقرة السابقة بأن تيار الانحراف التدريج الكامل I_{fsd} يمكن الوصول اليه في كل مديات الفولتية عند تطبيق فولتية ذلك المدى عليه كما مبين في المثال (4.4) اذ كان التيار 1 mA للفولتيات 10V و 50V و250V و 500V عبر طرفي المقياس . وكان مدى الفولتية بنسبة المقاومة الكلية R_T الى فولتية المدى V هي $\frac{1000\ \Omega}{V}$. إن هذا الرقم ينسب عادة الى الحساسية او الاوم للفولت المقياس الفولتية . لاحظ بأن الحساسية S هي مقلوب تيار الانحراف للتدريج الكامل في المقياس الاساسي او :

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} \quad \frac{\Omega}{V}$$

يمكن استغلال فكرة الحساسية من حساب مقاومة مضاعف القراءة لمقياس الفولتية ، لاحظ الشكل (4.8) حيث :

S = حساسية الفولتميتر V / Ω

V = مدى الفولتية كما توضع بواسطة زر المدبات .

R_m = المقاومة الداخلية لملف الجهاز (زائداً المقاومات التي تسبق على التوالي)

R_s = مقاومة مضاعف القراءة .

ولدائرة الشكل (4.8) .

$$S_T = S \times V$$

$$R_s = (S \times V) - R_m$$

وأن استعمال فكرة الحساسية موضح في المثال الآتي :

مثال : (4.5)

أعد المثال السابق الان مستخدماً فكرة الحساسية في حساب المقاومات لمضاعفة القراءة .

الحل :

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} = \frac{1}{0.001} = 1{,}000 \ \frac{\Omega}{V}$$

$$R_4 = (S \times V) - R_m = \frac{1000}{V} \times 10V - 100\,\Omega = 9{,}900\,\Omega$$

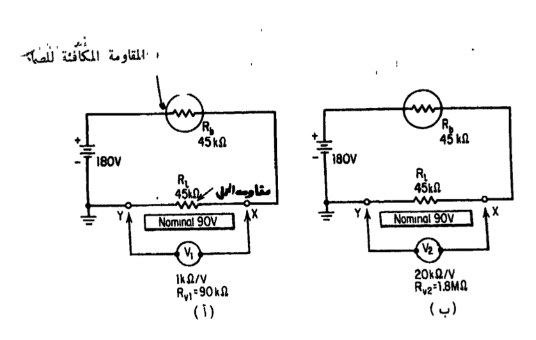
$$R_3 = (S \times V) - Rm = \frac{1000\,\Omega}{V} \times 50V - 10{,}000\,\Omega = 40\ K\Omega$$

$$R_2 = (S \times V) - R_M = \frac{1000\,\Omega}{V} \times 250\ V - 50\ K\Omega = 200\ K\,\Omega$$

$$R_1 = (S \times V) - R_m = \frac{1000\,\Omega}{V} \times 500V - 250K\Omega = 250\ K\,\Omega$$

4.4.2 تأثير التحميل :

يحوي مقياس الفولتية على ممانعة ادخال معينة ، ومهما كانت قيمة هذه الممانعة فأنها تؤثر على الدائرة التي سيربط بها المقياس . فأن كان تأثير هذه الممانعة واضحاً فيجب الاهتمام بمثل هذه الحالات والتي تسمى عادة بتأثير التحميل ويزداد هذا التأثير عندما تكون القياسات لدوائر ذات ممانعة عالية او لأية دائرة عندما يكون التيار فيها قليلا وذلك استناداً الى الحقيقة المعروفة وهو اعتماد اشتغال مقياس الفولتية على استخدام جزء من تيار الدائرة ولما كان تيار مقياس الفولتية قليلاً (لنفرض ١٪ من التيار الاصلي الذي يمر في الدائرة) يمكننا اهمال هذا المقدار . الاّ أن هناك حالات كثيرة يكون فيها التيار المسحوب من قبل مقياس الفولتية عال نسبياً بالمقارنة مع تيار الدائرة قبل ربط الجهاز وفي هذه الحالات ستكون نسبة الخطأ في قراءة مقياس الفولتية عالية .



الشكل 4.9 تأثير التحميل على قراءة الفولتمتر
أ ـ باستخدام جهاز حاسية 1000 Ω / V
ب ـ باستخدام جهاز حاسية 20 KΩ/V

يوضح الشكل (4.9) حالتين من حالات المقياس ، لأيضاح نسبة الخطأ في كل منها حيث سيتم اجراء قياس الفولتية نفسها بجهازين مختلفين في المقاومة الداخلية . فاذا كانت حساسية المقياس في الربط الايسر هي $1000\Omega/v$ وذلك لقياس الفولتية 90 فولت عبر المقاومة $R_1 = 45K\,\Omega$، المربوطة على التوالي مع المقاومة المكافئة لأداة الكترونية R_b وباستخدام المدى 90 فولت لأقصى تدريج (للسهولة) فإن المقاومة الداخلية لمقياس الفولتية تكون 90k . وعند ربط المقياس عبر نقطتي المقياس x,y فإن قيمة المقاومة المؤثرة عبر النقطتين ستتغير الى القيمة المكافئة نتيجة ربط $R_1 = 45k\Omega$ على التوازي مع $R_{v_1} = 90k\Omega$ والتي ستكون قيمتها $30k\Omega$ ومن الواضح ان الفولتميتر يسجل القراءة نتيجة الربط الناتج وتكون :

$$V_{xy} = 180 \left(\frac{R_{xy}}{R_b + R_{xy}} \right)$$

$$= 180 \left(\frac{30\ k\Omega}{45k\Omega + 30k\Omega} \right) = 180 \left(\frac{30}{75} \right) = 72V$$

وتكون هذه القراءة 72 فولت اقل بمقدار 18 فولت عن القيمة الحقيقية 90 فولت وهي الفولتية التي تكون عبر المقاومة $R_1 = 54k\Omega$ قبل ربط جهاز القياس وعليه تكون نسبة الخطأ $20\% = \frac{18}{90}$. ويجب ملاحظة ان الخطأ هو نتيجة سوء اختيار نوع المقياس .

وللتأكد من سلامة المقياس وصحة قراءته يمكننا حساب قراءته 72 فولت بمتابعة وضعية التيار في الدائرة بعد ربط الجهاز حيث ان تيار الدائرة الاصلي 2 ملي امبير سيصبح

$$I = \frac{180}{45 \quad + 30k} = \frac{180V}{75k\,\Omega} = 2.4mA.$$

وباستخدام تقسيم التيار يمكننا ايجاد تيار المقياس I_{v_1} إذ أن :

$$I_{v_f} = 2.4mA \left(\frac{45k\Omega}{45k\Omega + 90k\Omega}\right) = 2.4 \left(\frac{45k\Omega}{135k\Omega}\right)$$

$$= 0.8mA$$

وتكون القيمة المتبقية 1.6mA هي المارة في المقاومة R_1 . وبما أن التيار المقياس 0.8mA فإن المقياس الاساسي الذي يصل مداه من صفر الى 1 ملي امبير سوف ينحرف $\frac{8}{10}$ التدريج الكامل 90 فولت اي 72 فولت . وهذا يتحقق نتيجة حساب قيمة الهبوط في الفولتية في المقاومة R_1 حيث تكون $1.6mA \times 45k\Omega = 72V$. وهي القيمة نفسها بالتحليل السابق .
$= 45K\Omega$

والآن لو ربطنا مقياس الفولتية آخر V_2 ذا الحساسية $20k\Omega/v$ كما يلاحظ في الربط الايمن للشكل (4.9) وعلى التدريج 90 فولت نجد ان ربط التوازي يحوي $R_{v_2} = 90(20k\Omega) = 1800k\Omega$ وكذلك $R_1 = 45k\Omega$ وإن القيمة الكلية للمقاومتين $45k\Omega$ على التوازي مع $1800k\Omega$ هي 1% ضمن قيمة $45k\Omega$ عبر x-y . ولذلك سوف تكون قراءة المقياس 90 فولت تقريباً وبما ان نسبة الخطأ اقل من 1/2% وهي اقل من القيمة المسموح بها لذا يمكن اهمالها ولدى مقارنة الحالتين ببعضهما نلاحظ ان قيمة المقاومة الداخلية الواطئة نسبياً للحالة الاولى وهي $1000\Omega/v$ يجعله غير مناسب لهذه القراءة في حين يكون المقياس الثاني ذو الحساسية $20k\Omega/v$ مناسباً تماماً .

ولا يغيب عن بالنا بأن مقياس الفولتية الاول V_1 غير مناسب هنا ولكنه مناسب لحالات اخرى كثيرة اذا احسنا الاختيار خاصة في الدوائر ذات المقاومة القليلة . ويمكن اجراء المقاومة نفسها لمقياس الفولتية الثاني والذي لا يصح استخدامه في الدوائر ذات المقاومات العالية جداً اكثر من الدوائر التي كانت قيد الدرس . وكحالة عامة يمكن تقدير صلاحية مقياس الفولتية للقياس في الدائرة المعينة بحيث تكون المقاومة الداخلية لمقياس اكثر بعشرين مرة (على الاقل) من المقاومة الخارجية التي تربط عليها لقياس الفولتية عبرها . ويمكن في حالات كثيرة اجراء التحليل اللازم واختيار المقياس المناسب بعد اجراء

الحسابات التي قمنا بها في هذا المثال ويمكن في هذه الحسابات استنتاج ضرورة استخدام مقاييس الفولتية الالكترونيه ذات المقاومة الداخلية العالية وذلك لتجنب خطا التحميل المتوقع نتيجة سوء الاختيار .

يوضح المثال السابق ضرورة التأكد من صلاحية الجهاز نفسه اولاً وملاحظة النقاط الآتية من اجل الحصول على قراءات صحيحة :

أ ـ لاحظ القطبية الصحيحة ، اذ تسبب القطبية الخطأ عطب الجهاز بسبب دورانه عكس الموقّف الميكانيكي .

ب ـ ضع الفولتيمتر عبر الدائرة او العنصر المراد قياس فولتيته .

جـ ـ عند استخدام مقياس الفولتية المتعدد المديات استعمل دائماً اعلى مدى ثم قلل المدى الى ان تحصل على قراءة واضحة في التدريج .

د ـ احذر دائماً من تأثير التحميل . ويمكن تقليل هذا التأثير باستخدام مدى فولتية عالٍ (وحساسية عالية).تقل دقة المقياس اذا كان المؤشر في الجزء السفلي الواطىء في التدريج .

تنجز قياسات الفولتية في الدوائر الالكترونية عادة عقياس فولتية متعددة المديات او بمضاعفات القراءة مع حساسية بحدود $20k\ \Omega/v$ الى $50k\Omega\ /v$ على الاقل وفي قياسات القدرة حيث يكون التيار كبيراً فإن حساسية مقياس الفولتية تكون قليلة بحدود $100\ \Omega/v$. وتعتمد مقاومة مقياس التيار على تصميم الملف وقد وضحت القيم النموذجية لمقاومات بعض مقاييس التيار في الجدول (4.1) والتي تختلف باختلاف التدريج .

الجدول (4.1)
قيم نموذجية لمقاومة الاميتر

تيار التدريج الكامل μ A	المقاومة (بالاوم) لمقياس نوع (pivot jewel)	المقاومة (بالاوام) لمقياس نوع (Taut-band)
50	2000-5000	1000-2000
500	200-1000	100-250
1000	50-120	30-90
10,000	2-4	1-3

4.5 قياس المقاومة :

تعد المقاومة احد العناصر الكهربائية المهمة وهي موجودة في جميع الدوائر الكهربائية فضلاً عن وجودها ضمنياً في العناصر الاخرى مثل الملفات وملفات المحولات والمحركات. والمتسعات وتختلف درجة الدقة المطلوبة لقياس المقاومات حسب الغرض المخصص لذلك القياس . وهناك طرق متعددة لقياس المقاومات نذكر فيا يأتي بعضها :

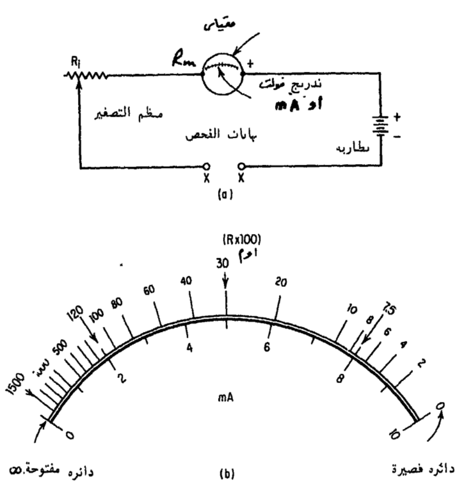
١ ـ مقياس الاوميتر
٢ ـ طريقة مقياس الاميتر والفولتميتر
٣ ـ طريقة الجهاد
٤ ـ طريقة القنطرة

. وسنذكر تفاصيل الطريقة الاولى لعلاقتها المباشرة مع اجهزة القياس وتراجع تفاصيل بقية الطرق وهناك نوعان من مقاييس المقاومة هما نوع التوالي ونوع التوازي والسبب في هذه التسمية يرجع الى طريقة ربط المقاومة المجهولة بالنسبة الى ملف المقياس :

4.5.1 مقياس المقاومة نوع التوالي :

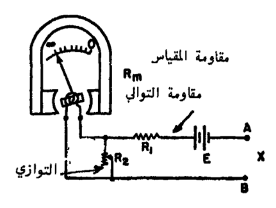
لا يعد هذا النوع من مقاييس المقاومة دقيقا في القراءة على الرغم من استخدامه بكثرة في المجالات الصناعية والعملية في قياس المقاومات بصورة

تقريبية وخاصة المستخدمة في الدوائر مثل مقاومة السخانات او مقاومة ملف المحركات او لغرض فحص الدائرة القصيرة او المفتوحة وكما هو الحال ايضاً في فحص الفواصم او العناصر الكهربائية المعطوبة او فحص استمرارية الدائرة الكهربائية في التأسيسات للتأكد من ربط الاسلاك والكيبلات والى غير ذلك من الفحوصات المفيدة والسريعة والتي لا تحتاج الى معرفة قيمة المقاومة. يتألف مقياس المقاومة المنوالي من ملف دى ارسنفال المتحرك على التوالي مع مقاومة R_1 وبطارية E ونهايتين A . B يتم ربط المقاومة اليها. وتعتمد قيمة التيار خلال المقياس على قيمة المقاومة المطلوبة قياسها R_x والتي تربط عبر النقاط A ، B . بعد معايرة الجهاز بربط النهايتين A . B بصورة مباشرة كما موضح في الشكل (4.11) .



التكل 4.10 مقياس الاومتر

ولغرض تحليل الدائرة الكهربائية للاوميتر المتوالي المستخدم في المختبرات نلاحظ النموذج المبين في الشكل التالي (4.11)



الشكل 4.11 احد انواع الاوميترات الشائعة الاستخدام في المختبر ات .

E = بطارية داخلية .
R_1 = مقاوم تحديد التيار .
R_2 = مقاوم معايرة قراءة الصفر .
R_m = المقاومة الداخلية لملف دى ارسنفال المتحرك .
R_x = المقاوم المجهول .

عندما تكون المقاومة المجهولة $R_x = 0$ (فإن النهايتين A و B متصلة اي مقصورة) يدور اعظم تيار في الدائرة . وفي هذه الحالة فأن المقاوم R_2 ينظم الى أن يصل المؤشر أعلى تدريج (I_{fsd}) فيؤشر مكان أعلى تدريج للتيار بالاشارة (0Ω) على التدريج . وبشكل مشابه عندما $Rx = \infty$ (النهايتان A و B مفتوحة) فإن التيار في الدائرة يهبط الى الصفر والمؤشر يؤشر الى التيار صفر والذي يمثل حينئذ بمقاومة (∞) . والاشارات الوسطى يمكن ان توضع على التدريج بربط قيم لـ R_x على الجهاز . وتعتمد درجة دقة التأشير على دقة الملف المتحرك والخطأ في معايرة المقاومات وعلى الرغم من ان مقياس المقاومة نوع المتوالي شائع الاستعمال بكثرة في الاجهزة اليدوية للاشغال والخدمات العامة فإن فيه مساوىء واهمها وجود البطارية الداخلية حيث ان فولتيتها تتغير مع الوقت وبالنسبة لعمر البطارية بحيث ان تيار اعلى تدريج يهبط والمقياس لايقرأ (O) عندما تكون A و B مقصورة . والمقاومة العرضية R_2 في الشكل 4.11 تهيء

التنظيم اللازم عند هبوط البطارية او تغير قيمتها . وبدون R_2 يمكن جلب المؤشر الى اعلى تدريج بتنظيم R_1 . ولكن هذا سوف بغير معايرة الجهاز على طول التدريج .

أن التنظيم بالمقاوم R_2 هو الحل المثالي لان المقاومة الكلية لـ R_2 والملف المربوطان على التوازي قليلة نسبة الى R_1 ولذا فأن التغيير في R_2 اللازم لتنظيم لايغير المعايرة كثيراً . ودائرة الشكل (4.11) تناسب كثيراً ومع ضعف أو استهلاك البطارية فانها جيدة بحدود الدقة المتوقعة للجهاز .

ان الكمية المناسبة لاستخدام مقياس المقاومة من نوع التوالي هي القيمة R_x التي تسبب انحراف المقياس الى منتصف التدريج ففي هذا المكان تعرف المقاومة عبر النهايات A و B بمقاومة منتصف التدريج R_h . فلو أعطينا تيار التدريج الكامل I_{fsd} والمقاومة الداخلية للملف المتحرك R_m فأن فولتية البطارية E والقيمة المرغوبة لمقاومة نصف التدريج R_h لأمكن تحليل الدائرة أي ايجاد قيمتي R_1 و R_2 .
يمكننا التوصل الى التصميم بمعرفة R_h فأن تيار المقياس يصبح $\frac{1}{2} I_{fsd}$ والمقاومة المجهولة يجب أن تكون المقاومة الداخلية الكلية للاوميتر لذا .

$$R_h = R_1 + \frac{R_2 R_m}{R_2 + Rm} \tag{4.5}$$

المقاومة الكلية التي تظهر للبطارية تساوي $2R_h$ وتيار البطارية اللازم لتجهيز انحراف نصف التدريج هو :

$$I_h = \frac{E}{2R_h} \tag{4.6}$$

وللحصول على انحراف التدريج الكامل فأن تيار البطارية يجب أن يتضاعف وعليه :

$$I_t = 2\ I_h = \frac{E}{R_h} \tag{4.7}$$

ويصبح التيار العرضي خلال R_2 :

$$I_2 = I_t - I_{fsd} \qquad (4.8)$$

كما تصبح الفولتية عبر المقاومة العرضية (E_{sh}) مساوية للفولتية عبر الملف المتحرك .

$$E_{sh} = E_m \text{ أو } I_2R_2 = I_{fsd}\ R_m$$

وأن :

$$R_2 = \frac{I_{fsd}\ R_m}{I_2} \qquad (4.9)$$

وبتعويض المعادلة (4.8) في المعادلة (4.9) نحصل على :

$$R_2 = \frac{I_{fsd}\ Rm}{I_t - I_{fsd}} = \frac{I_{fsd}\ R_m\ R_h}{E - I_{fsd}\ R_h} \qquad (4.10)$$

وبحل المعادلة (4.5) نحصل على :

$$R_1 = R_h - \frac{R_2\ R_m}{R_2 + R_m} = R_h - \frac{R_m}{1 - \dfrac{R_m}{R_2}} \qquad (4.11)$$

وبتعويض المعادلة (4.10) في المعادلة (4.11) وبحل لـ R_1 نحصل على :

$$R_1 = R_h - \frac{I_{fsd}\ R_m\ R_h}{E}$$

أي أن

$$R_h + \frac{R_m}{1 + \dfrac{R_m}{I_{fsd}\, R_m\, R_h / E - I_f R_m}} = R_h + \frac{I_f\, R_m\, R_h}{E} \quad (4.12)$$

ويوضح المثال الآتي الحسابات النموذجية لاوميتر من نوع المتوالي :

مثال (4.6) :

أوميتر الشكل (4.11) يستعمل الملف المتحرك الذي مقاومته (24Ω) ويحتاج الى 1mA لتأشير تدريج كامل . فولتية البطارية الداخلية 3V . والتأشير للتدريج المطلوب لانحراف نصف تدريج هو 2000 أوم أحسب :

أ ـ قيم R_1 و R_2 .
ب ـ أقصى قيمة لـ R_2 ليتناسب مع الهبوط 10٪ لفولتية البطارية .
جـ ـ خطأ التدريج لمنتصف التدريج يؤشر (2000Ω) عندما توضع R_2 كما في ب .

الحـــــل :

أ ـ إن تيار البطارية لانحراف تدريج كامل هو :

$$I_t = \frac{E}{R_h} = \frac{3\ V}{2000\Omega} = 1.5\ mA$$

تيار مقاومة تنظيم الصفر R_2 يكون :

$$I_2 = I_t - I_{fsd} = 1.5 - 1 = 0.5\ mA$$

$$R_2 = \frac{I_{fsd}\ R_m}{I_2} = \frac{1\ mA \times 24\Omega}{0.5\ mA} = 48\Omega$$

قيمة مقاومة تنظيم الصفر هي :

مقاومة الملف المتحرك والمقاومة العرضية على التوازي R_p تصبح :

$$R_p = \frac{R_2\ R_m}{R_2 + R_m} = \frac{24 \times 48}{24 + 48} = 16\Omega.$$

قيمة مقاوم محدد التيار R_1 هو :

$$R_1 = R_h - R_p = 2000 - 16 = 1984\Omega.$$

*للحصول على 10% لفولتية البطارية :

$$E = 3\ V - 0.3\ V = 2.7\ V$$

يصبح تيار البطارية الكلي I_t :

$$I_t = \frac{E}{R_h} = \frac{2.7\ V}{2000\Omega} = 1.35\ mA$$

كما يكون تيار المقاومة العرضية I_2 :

$$I_2 = I_t - I_{fsd} = 1.35 - 1 = 0.35\ mA$$

ومقاومة تنظيم الصفر R_2 تساوي

$$R_2 = \frac{I_{fsd}\ R_m}{I_2} = \frac{1\ mA \times 24}{0.35\ mA} = 68.6\Omega.$$

جـ ـ مقاومة الملف المتحرك على التوازي مع R_2 تصبح .

$$R_p = \frac{R_2\ R_m}{R_2 + R_m} = \frac{24 \times 68.6}{24 + 68.6} = 17.8\Omega.$$

وبما أن مقاومة نصف التدريج R_h مساوية الى المقاومة الداخلية الكلية فأنها تزداد الى :

$$R_h = R_1 + R_p = 1984\Omega + 17.8\Omega = 2001.8\Omega.$$

لذا فإن القيمة الحقيقية لاشارة نصف التدريج على المقياس هي 2001.8 في حين تكون اشارة التدريج الحقيقي . 2000 . وتكون النسبة المئوية للخطأ :

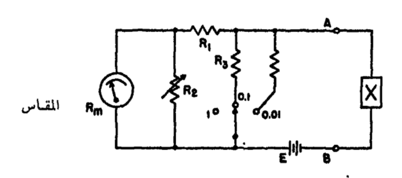
$$\text{النسبة المئوية للخطأ} = \frac{2000 - 2001.8}{200\ 1.8} \times 100\%$$

$$= -\ 0.0899\%$$

وتعني الاشارة السالبة أن قراءة المقياس واطئة .

يمكن تصميم مقياس المقاومة في المثال (4.6) لقيم اخرى لـ R_h . فاذا كانت $(R_h = 3000\Omega)$ فإن تيار البطارية يكون 1mA وهو تيار انحراف تدريج كامل .
واذا قلت فولتية البطارية بسبب عمر البطارية فأن تيار البطارية الكلي يهبط الى أقل من (1mA) لايكون هناك مجال للتنظيم بسبب عدم وجود تيار في المقاومة R_2 .
وعليه فأنه لقيم R_h تساوي او اكبر من 3000Ω اكثر حساسية او ذو بطارية قيمة E فيها أعلى من 3V .

يمكن اجراء بعض التعديلات لغرض الحصول على قيمة قليلة لـ R_h وذلك باعادة التصميم او اضافة مقاومة كالمبينة في الشكل (4.12) والفكرة الاخيرة مفيدة في مقاييس المقاومة ذات التدريجات المتعددة . فلو كانت R_3 تساوي $\frac{1}{9}$ من قيمة مقاومات التوالي والتي هي $R_1 + (R_m , R_2)$ على التوازي فأن المقاومة الداخلية تصبح $\frac{1}{10}$ من قيمتها السابقة وكذلك فإن $\frac{4}{10}$ من التيار الذي سيمر في المقاومة المجهولة R_x يمر في R_3 وأن $\frac{1}{10}$ يمر خلال المسلك القديم فاذا كانت $R_3 = 200\Omega$ فأن تيار البطارية يصبح عشر مرات اكبر من السابق ولكن يكون تيار الملف هو نفسه لذا فأن التدريج الذي كان 2000Ω فهو يمثل الآن 200Ω لذا يمكننا استخدام التدريج السابق بضرب القيمة بالرقم 0.1



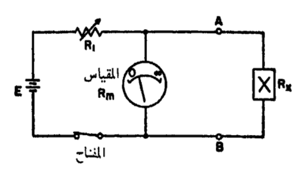
الشكل 4.12 اوميتر نوع التوالي ذو مديات متعددة .

وبصورة مشابهة سوف تضرب بالعامل 0.01 ولكن التيار الذي يمر في المقاومة المجهولة سيرتفع لذا يجب علينا الحذر من استخدام هذا المقياس في قياس مقاومة الاجهزة الحساسة للتيار مثل جهاز الكلفانوميتر أو جهاز الملي أميتر .

4.5.2 مقياس المقاومة نوع المتوازي (Shunt-type Ohmmeter) :

يوضح الشكل (4.13) الدائرة الكهربائية لقياس المقاومة لاميتر نوع المتوازي تحوي على بطارية تربط على التوالي مع مقاومة متغيرة R_1 وملف دى إرسنفال المتحرك . تربط المقاومة المجهولة عبر النهايات A و B على التوازي مع المقياس . ويستخدم المفتاح S لغرض فصل البطارية عن الدائرة في حالة عدم استعمال الجهاز . فعندما تكون قيمة المقاومة المجهولة صفراً أي $R_x = 0$ (B,A دورة قصر) فأن تيار المقياس يكون صفراً . واذا كانت المقاومة المجهولة عالية جداً أي $R_x = \infty$ (A و B مفتوحة الدائرة) فأن طريق التيار يكون من خلال المقياس فقط وباختيار مناسب لقيمة R_1 فأن المؤشر يمكن أن يقرأ تدريجاً كاملاً . وعليه يكون للمقياس اشارة الصفر في التدريج على الجهة اليسرى من التدريج (بدون تيار) وأما اشارة (∞) فأنها تكون على الجهة اليمنى من التدريج (التيار في أقصى انحراف التدريج) .

ويكون مقياس المقاومة نوع المتوازي بصورة خاصة مناسب في قياسات المقاومات ذات القيم الواطئة . وما هو بالجهاز الشائع الاستخدام ولكن يمكن استعماله في المختبرات إذ يستخدم في القياسات الخاصة للمقاومات الواطئة .



الشكل 4.13 مقياس مقاومة نوع التوازي

يكون اسلوب تحليل مقياس المقاومة نوع المتوازي يشبه الاوميتر المتوالي (الفقرة السابقة) . في الشكل (4.13) عندما $R_x = \infty$ فأن تيار المقياس لاعلى تدريج سيكون .

$$I_{fsd} = \frac{E}{R_1 + R_m} \qquad (4.13)$$

إذ أن :

E = فولتية البطارية الداخلية .

R_1 = مقاوم تحديد التيار

R_m = المقاومة الداخلية للملف الدوار

ولغرض الحل لـ R_1 نجد :

$$R_1 = \frac{E}{I_{fsd}} - R_m \qquad (4.14)$$

ولأي قيمة لـ R_x المربوطة عبر نهايتي المقياس فأن تيار المقياس يقل ويعطى بالعلاقة .

$$I_m = \left\{ \frac{E}{R_1 + [R_m R_x/(R_m+R_x)]} \right\} \times \frac{R_x}{R_m + R_x}$$

$$I_m = \frac{E\ R_x}{R_1\ R_m + R_x\ (R_1 + R_m)} \tag{4.15}$$

ويعبر عن تيار المقياس لاي قيمة لـ R_x بجزء من تيار التدريج الكامل هو :

$$S = \frac{I_m}{I_{fsd}} = \frac{R_x\ (R_1 + R_m)}{R_1\ (R_m + R_x) + R_m\ R_x}$$

أو :

$$S = \frac{R_x\ (R_1 + R_m)}{R_x\ (R_1 + R_m) + R_1\ R_m} \tag{4.16}$$

وبتعريف :

$$\frac{R_1\ R_m}{R_1 + R_m} = R_p \tag{4.17}$$

وبتعويض المعادلة (4.17) في المعادلة (4.16) نحصل على :

$$S = \frac{R_x}{R_x + R_p} \tag{4.18}$$

ويمكن معايرة المقياس وذلك لحساب S من المعادلة السابقة بدلالة R_x , R_p .
ولدى قراءة نصف تدريج المقياس $(I_m = 0.5 I_{fsd})$ تختصر المعادلة (4.16) الى :

$$0.5\ I_{fsd} = \frac{E\ R_h}{R_1\ R_m + R_h\ (R_1 + R_m)} \tag{4.19}$$

إذ تمثل R_h المقاومة الخارجية التي تسبب انحراف نصف التدريج . ولحساب قيمة التدريج التابع لقيمة R_1 معطاة فأن قراءة نصف التدريج يمكن ايجادها بقسمة المعادلة (4.13) على المعادلة (4.19) والحل لقيمة R_h .

$$R_h = \frac{R_1 \; R_m}{R_1 + R_m} \qquad (4.20)$$

ويوضح التحليل أن مقاومة نصف التدريج يمكن ايجادها بوساطة المقاومتين R_1 والمقاومة الداخلية للملف المتحرك R_m . وكذلك يمكن ايجاد المقاومة المحددة R_1 من قيمة مقاومة المقياس (R_m) وعند منتصف التدريج $R_1 + R_m$ وتيار انحراف التدريج الكامل I_{fsd} . إن توزيع التدريج لهذا النوع من المقياس يكون بشكل خطي للجزء السفلي منه عندما ($R_x < R_h$) تكون القراءات مزدحمة كلما زادت قيمة R_x ولاجل توضيح ملاءمة أن الاميتر نوع المتوازي لقياس المقاومات الواطئة جداً ، لاحظ المثال الآتي :

مثال (4.7) :

تستعمل دائرة الشكل (4.13) ملف دي ارسنفال الاساسي تيارة (10mA) ومقاومته الداخلية (5Ω) . فولتية البطارية E = 3V ويطلب تحوير الدائرة باضافة مقاومة مناسبة R_{sh} عبر الملف المتحرك بحيث يؤشر الجهاز على 0.5 Ω في منتصف التدريج

احسب :

أ ـ قيمة المقاوم المتوازي (R_{sh}) .

ب ـ قيمة مقاوم محدد التيار R_1 .

الحل :

أ ـ لانحراف نصف تدريج الملف المتحرك .

$$I_m = 0.5 \; I_{fsd} = 5 \text{ mA}$$

والفولتية عبر الملف المتحرك .

$$E_m = 5 \text{ mA} \times 5 \quad = 25 \text{ mV}$$

وبما ان هذه الفولتية تظهر أيضا عبر المقاومة المجهولة R_x فأن التيار خلال R_x هو :

$$I_x = \frac{25\ mV}{0.5\ \Omega} = 25\ mA$$

ان التيار خلال الملف المتحرك I_m زائداً التيار خلال المقاومة المتوازية I_{sh} يجب أن تساوي التيار خلال المقاومة المجهولة I_x لذا :

$$I_{sh} = I_x - I_m = 50 - 5 = 45\ mA$$

تكون المقاومة المتوازية :

$$R_{sh} = \frac{E_m}{I_{sh}} = \frac{25\ mV}{45\ mA} = 5/9\Omega$$

ب ـ تيار البطارية الكلي :

$$I_t = I_m + I_{sh} + I_x = 5 + 45 + 50 = 100\ mA$$

الفولتية الهابطة عبر المقاومة المحددة R_1 تساوي $3v - 25mV = 2.975V$ ولذا :

$$R_1 = \frac{2.975V}{100\ mA} = 29.75\ \Omega.$$

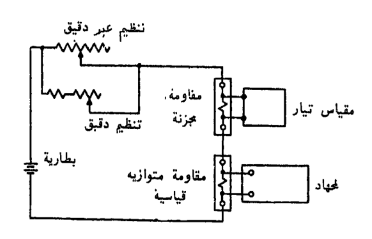
4.6 معايرة مقاييس التيار المستمر :

تختلف طرق معايرة اجهزة القياس باختلاف درجة الدقة المطلوبة للجهاز ويعتمد أساس المعايرة على مقارنة قراءة المقياس المطلوب معايرته مع آخر متأكدين من جودته وصحة قراءته . لا تحتاج اجهزة القياس الاعتيادية وكذلك اجهزة القباس المستخدمة في اللوحات الكهربائية الى دقة عالية لذا يمكن معايرتها

باجهزة قياس ذات جودة عالية وتسمى الاجهزة المعيارية وبكون استخدامها نادراً وتخصص فقط للمعايرة ودرجة الدقة فيها تصل الى حد 0.1 بالمائة من قراءة التدريج الكامل وتعد هذه الطريقة سهلة وسريعة .

ويمكن أن تجرى معـــابرة اجهزة القيـــاس المعيـــاريـــة بواسطـــة الجهـــاد (اليوتينشيوميتر) على الرغم من ان هذه الطريقة تستغرق مدة طويلة الا أنها تعطينا نتائج جيدة كما هو معروف عن الجهاد . وللمجهاد استخدامات في القياس وبشكل جيد تستخدم لقياس المقاومة والتيار والفولتية وفي الوقت نفسه يمكن استخدامه لمعايرة الاجهزة التي تستخدم لقياس التيار والفولتية .

وتتكون الدائرة الكهربائية التي تستخدم لمعايرة الاميتر من الربط المبين في الشكل (4.14) إذ تربط مقاومة قياسية على التوالي مع مقياس المقاومة المطلوب معايرته ويمكننا قياس الفولتية عبر هذه المقاومة بوساطة الجهاد ومن ثم استنتاج كمية التيار بعملية حسابية بسيطة وبتطبيق قانون اوم لهذا الغرض ، ويظهر بأن قيمة التيار ستكون دقيقة وصحيحة الى درجة عالية بسبب استخدام الجهاد المقاومة المعيارية ولو كان المطلوب معايرة مقياس تيار لغرض تأشير تدريجه لأول مرة عند صناعته فانه يتطلب اعادة التجربة عدد من المرات وباستخدام عدد من المقاومات المعيارية تتناسب قيمتها مع قيم أقصى تدريج وعدد من القراءات الوسطية وتأشير ذلك على التدريج وبعدها يمكن استنتاج القراءات التي تقع بين هذه التأشيرات ويتم تثبيتها جميعاً .

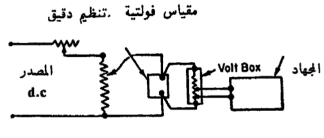


الشكل **4.14** معايرة مقياس التيار بالجهاد .

واما اذا طلب معايرة الجهاز بعد الاستخدام لمدة معينة ولغرض التأكد من صلاحيته وسلامة قراءته فيتم ذلك بعدد محدود من القراءات ويفضل ان تكون هذه القراءات موزعة على مدى التدريج وخاصة القراءات القريبة من النهاية العظمى .

4.7 معايرة مقياس فولتية d.c. :

ويمكن استخدام الجهاد لمعايرة مقاييس الفولتية المعيارية وتكون الدائرة كما هو موضح في الشكل (4.15) .
وعندما يراد معايرة مقياس الفولتية لاول مرة لغرض تأشير تدريجه فإن تدريج فولتية المصدر يوضع على المكان الذي يعطينا اعلى فولتية يمكن قراءتها بالمقياس ومن ثم يتم تدقيق القراءة بالجهاد ويصبح ذلك أول نقطة يمكن تأشيرها على التدريج ثم تخفظ فولتية المصدر بتغير الفولتية بواسطة مقسم الفولتية ويتم قراءة الفولتية بالجهاد ونؤشر على التدريج وهكذا يتم تأشير عدد من النقاط الاساسية الموزعة على مدى التدريج وتؤشر النقاط الوسطية إما بوساطة رسم منحني او بطريقة التسوية .



الشكل 4.15 معايرة الفولتميتر بالجهاد .

واذا كان المطلوب معايرة مقياس الفولتية بعد الاستخدام لفترة معينة من الزمن فإن العملية تكون ابسط من ذلك حيث يتم اختيار عدد اقل من القراءات لا يزيد عن الثلاث قراءات وذلك بتغير مقاومة مقسم الفولتية واستنتاج نسبة الخطأ وتصحيحها او أخذها بنظر الاعتبار في حسابات القراءة الصحيحة من قراءة ذلك المقياس .

المسائل

1 ـ احسب فولتية اعلى تدريج يمكن أن يبينها جهاز متحرك الملف تياره $500\mu A$ ومقاومته الداخلية 250Ω في حالة عدم استعمال المضاعف .

2 ـ صمم اميتر .D.C يحوي التدريجات 0-10mA و 0-50mA و 0-100mA و 0-500mA . مستخدما ملف دى ارسنفال الذي مقاومته الداخلية 50Ω $R_m =$ وتيار اقصى تدريج فيه $I_{fsd} = 1mA$.

(أ) احسب قيم المقاومات المتوازية المطلوبة

(ب) ارسم مخطط للدائرة الكامل .

3 ـ اميتر .D.C يحوي مقاومة متوازية مستعملاً الملف المتحرك الذي مقاومته الداخلية $R_m = 1800\ \Omega$ وتيار أقصى تدريج فيه $I_{fsd} = 100\ \mu A$. ربط هذا المقياس الى دائرة واعطى القراءة 3.5mA على التدريج 5mA . وقد دققت هذه القراءة بقياس اميتر .D.C معاير حديثاً والذي اعطى القراءة 4.1mA والظاهر أن الاميتر الاول فيه خطأ في قيمة المقاومة المتوازية على التدريج5mA احسب(أ)القيمةالفعلية للمقاومة المتوازية (ب) المقاومة الصحيحةالمتوازيةعلىالتدريج 5mA .

احسب (أ) القيمة الفعلية للمقاومة المتوازية (ب) المقاومة الصحيحة المتوازية على التدريج 5mA .

4 ـ صمم المقاومة المتوازية نوع ايرتن تعمل مع ملف متحرك مقاومته الداخلية $2500\ \Omega$ وتيارأقصى تدريج $I_{fsd} = 50\mu A$ لغرض الاستخدام للمديات $50\mu A$ و $100\mu A$ و $500\mu A$ و 10mA و 100mA .

(أ) احسب مقاومة المتوازي ايرتن لجميع المديات

(ب) ارسم مخطط كامل للمقياس مبيناً المقاومات والزر المتحرك .

5 ـ يطلب تحوير ملف متحرك تياره $50\ \mu A$ ومقاومته 1000Ω الى فولتميتر .D.C يقرأ من الصفر الى 2500V . احسب (أ) المقاومة المضاعفة (ب) حساسية الجهاز .

6 ـ لفولتميتر .D.C حساسيته $1000\Omega/V$. احسب قيمة المقاومة الاضافية المطلوبة لتحوير الجهاز الى جهاز آخر تدريجه 1000V -0.

7 ـ باستخدام ملف متحرك تياره $50\ \mu A$ ومقاومته الداخلية 1500Ω . صمم فولتميتر متعدد المديات فيه المديات 0-5V و 0-10V و 0-50V و 0-100V . احسب (أ) قيم المضاعفات (ب) حساسية الجهاز . ارسم مخطط الدائرة للتصميم الكامل .

8 ـ ميكرواميتر D.C. مقاومته الداخلية 250Ω وتيار أقصى تدريج فيه 500 μA مبيناً التيار 300 μA عندما ربط الى دائرة تحوي خلية جافة 1.5 V ومقاومة مجهولة . احسب قيمة المقاومة المجهولة .

9 ـ صمم مقياس اوميتر نوع التوالي مشابه لدائرة الشكل 22-2 والملف المتحرك المطلوب استخدامه تياره 0.5mA لاقصى تدريج ومقاومة داخلية 50Ω البطارية الداخلية فولتيتها 3V وقيمة مقاومة منتصف التدريج المرغوبة 3000Ω احسب :

(أ) قيمة المقاومة R_1 والمقاومة R_2 (ب) مدى قيم R_2 اذا تغيرت فولتية البطارية الجافة من 2.7V الى 3.1V . استخدم قيمة R_1 التي حسبت في (أ) .

10 ـ اوميتر توالي صمم ليشتغل مع بطارية 6V فيه مخطط الدائرة مشابه للشكل 22-2 . وإن الملف المتحرك للمقياس مقاومته الداخلية 2000Ω ويحتاج الى 100μA لانحراف تدريج كامل . قيمة المقاومة R_1 هي 49kΩ .
(أ) افرض ان فولتية البطارية هبطت الى 5.9V . ثم احسب قيمة R_2 المطلوبة لتصغير المقياس .
(ب) تحت الظروف المذكورة في (أ) ربطت المقاومة المجهولة R_x الى المقياس مسببة انحراف مقداره 60% . احسب قيمة المقاومة المجهولة R_x .

11 ـ الملف المتحرك لفولتميتر الشكل 17-2 فيه تيار تدريج كامل 50μA ومقاومة داخلية 2000Ω . وقراءة اقصى تدريج للمقياس 150V عندما يكون موضع الزر في V_1 و 50v عندما يكون موضع الزر في V_2 و 10v عند الوضع V_3 و 1V عند الوضع V_4 احسب (أ) قيم المقاومات المضاعفة R_1 و R_2 و R_4 (ب) حساسة الفولتميتر .

12 ـ فولتميتر D.C. حساسيته 10kΩ/V واستخدم عند تدريجه 0-150V لغرض قياس الفولتية عبر المقاوم 100kΩ كما في الشكل 18-2 . احسب نسبة الخطأ في قراءة المقياس .

13 ـ صمم مقياس فولت ـ اوم ـ ملي اميتر ذو الخصائص الآتية :
(أ) مديات الفولتية 5-0 و 25-0 و 100-0 و 500-0 فولت d.c.
(ب) مديات التيار 10-0 و 100-0 و 500-0 و 1000-0 ملي امبير .
(جـ) مديات المقاومة 20Ω و 2000Ω و 200kΩ على منتصف التدريج .

الملف المتحرك المستخدم في هذا الجهاز هو ملف دي ارسنفال ذو المقاومة الداخلية 1500Ω وتيار اقصى تدريج $50\mu A$ (راجع مخطط الدائرة والوصف لمقياس متعدد الاغراض الشكل 2-24 لغرض اخذ المعلومات عن ترتيبات الدوائر) .

14 ـ فولتميتر .D.C كما في الشكل 2-20b، حساسيته $1000\Omega/V$ وقراءة اقصى تدريج فيه 100V . والمقياس يبين 84V عند ربطه على حمل . احسب الخطأ في قياس القدرة المبددة في الحمل بواسطة طريقة الفولتميتر ـ الامبير عندما يبين الاميتر القراءة (أ) 50mA و (ب) 1A و (جـ) 10A .

٥

اجهزة التيار المتناوب

مقدمة :

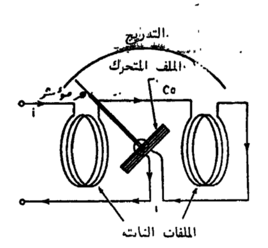
يعتمد عزم الدوران في اجهزة قياس التيار المستمر على معدل التيار المار في الملف . فاذا مرّ تيار متناوب في الجهاز فان المؤشر سيتحرك نحو اليمين واليسار بسبب تغير اتجاه التيار . واذا كان التردد عالياً نسبياً فلا يسمح القصور الذاتي للمؤشر بمتابعة سرعة تغير التيار فيثبت عند الصفر .

ولاجل اجراء القياسات للتيار المتناوب باستخدام ملف دى ارسنفال يجب استخدام بعض الاساليب التقنية للحصول على عزم دوران باتجاه واحد ومن هذه الطرق تقويم التيار المتناوب الى تيار مستمر قبل تسليطه على الملف او استخدام اجهزة قياس اخرى تعتمد حركة المؤشر فيها على التأثيرات الحرارية او الجذب المغناطيسي والكهروستاتيكي وغير ذلك .

5.1 الداينموميتر Dynamometer :

وهو احد الاجهزة المهمة لقياسات التيار المتناوب وان الاجهزة الاساسية لهذا الجهاز هي فولتميتر أو أميتر التيار المتناوب وبالخاصة للترددات الواطئة نسبياً . كما يمكن استعمال الداينموميتر كجهاز انتقال من التيار المستمر الى المتناوب ويتم مقارنة النوعين به حيث يمكن تعيير الجهاز بادخال كميات التيار المستمر ومن ثم

يستخدم لقياسات التيار المتناوب . هذا وان التكوين الاساس للجهاز يمكن استخدامه وتحويره الى مقياس القدرة أو مقياس القدرة غير الفاعلة او فارميتر فضلاً عن امكانية استخدامه كمقياس لعامل القدرة وقياس الترددات . يمكن فهم فكرة جهاز الداينموميتر ابتدأ بالملف المتحرك PMMC وتحليل تأثير الملف بالتيار المتناوب كما ذكرنا في المقدمة حيث يلاحظ اهتزاز المؤشر وثبوته عند قراءة الصفر بسبب سرعة تغير التيار بين القيمة الموجبة والقيمة السالبة ولو شئنا تبديل اتجاه المجال المغناطيسي الدائمي بحيث يتزامن هذا التغيير مع اتجاه التيار في الملف الدوار فإن عزم الدوران سيتخذ اتجاهاً واحداً ويكون بنفس الاتجاه لنصفي دورة التيار المتناوب الموجب والسالب . ويمكن تحقيق تغيير اتجاه المجال باستخدام ملف اخر نسميه ملف المجال يكون على التوالي مع الملف المتحرك وان ذلك سيشبه الى حد ما فعل حركة محرك التيار المستمر . فاذا بقي المجال بالاتجاه نفسه فإن اتجاه دوران المحرك سينعكس اذا انعكس تيار الملف المحرك . اما اذا انعكس اتجاه المجال والمتحرض بالوقت نفسه فإن عزم الدوران سيسلك اتجاهاً واحداً . وهناك تشابه في نقاط اخرى بين الداينموميتر ومحرك التيار المستمر المتوالي ستوضح بعض شرح مكونات الداينموميتر نفسه .



الشكل 5.1 يبين اجزاء الداينموميتر الاساسه والمستعمل كجهاز ملي امتر

يوضح الشكل (5.1) الاجزاء الرئيسة لجهاز الداينموميتر اذ يتألف ملف المجال من جزئين أيمن وايسر يتوسط الجزئين الملف المتحرك الذي يتصل بمؤشر الجهاز واجزاء الملف الثابت والمتحرك جميعا مربوطة على التوالي نسبة الى نهايات الفحص للجهاز . واما طريقة اداء الجهاز وعزم الدوران فيه فيمكن تفسيرها

بالرجوع الى معادلة العزم $T = BALI$ وبلاحظ بأن B كثافة التدفق المغناطيسي للملف الثابت في جهاز الداينموميتر يعتمد على التيار I نفسه بسبب الربط على التوالي لذا فإن العزم T يتناسب مع مربع التيار اي I^2 . ولو استخدم هذا الجهاز لقياس تيار مستمر فإن تدريج المقياس يتناسب مع مربع التيار وكذلك الحال اذا استخدم لقياس تيار متناوب ويكون تأشير المؤشر نسبة الى معدل مربع التيار بسبب عزم القصور الذاتي للملف المتحرك وتأثير النابض الحلزوني عليه يجعل الملف يتأثر بعزم دوران يتناسب مع هذا المعدل ويمكننا تغيير التدريج وجعله يتناسب مع جذر معدل التربيع لتصبح القراءة هي القيمة المؤثرة المعروفة .

واذا كان قد تم تعيير الجهاز بوساطة تيار مستمر فنلاحظ التأشير على تدريجه 1 أمبير مثلاً فمن المعروف ان هذا المقدار يعني قيمة جذر معدل التربيع للتيار (r.m.s) او القيمة المؤثرة او القيمة المكافئة للتأثير الحراري الذي يسببه تيار مستمر القيمة بنفسها يستهلك جهاز الداينموميتر قدرة اكثر من جهاز الملف المتحرك وهذه أحد مساوىء الجهاز والسبب واضح حيث أن جهاز الملف المتحرك يحتاج التيار لتحريك الملف فقط بسبب وجود المجال المغناطيسي الدائمي بالاصل وأما في جهاز الداينموميتر فأن تيار القياس يؤدي واجبين هما تكوين المجال ودوران الملف . هذا وإن المجال في جهاز الداينموميتر أقل منه في جهاز الملف المتحرك .

مقياس الفولتية والتيار من الداينموميتر :

يمكن تحوير الداينموميتر الى مقياس فولتية باضافة مقاومة على التوالي تسمى بالمقاومة المضاعفة ويكون ربطها للمقاييس المتعددة التدريجات أما بصورة انفرادية أو مشتركة كما هو الحال في فولتميترات التيار المستمر التي شرحناها في الفصل السابق .

ويُعد هذا النوع من أدق الفولتميترات وخاصة للحاسيات الواطئة بالمقارنة مع مقاييس فولتية التيار المستمر .

وأما تحوير الداينموميتر الى أميتر فيتم باضافة مقاومة مجزئة على التوازي وبصورة مشابهة لمقياس التيار المستمر ونود أن نضيف بهذه المناسبة أن الداينموميتر نفسه يُعد أميتر لقياس التيارات الواطئة ويمكن اضافة المقاومة

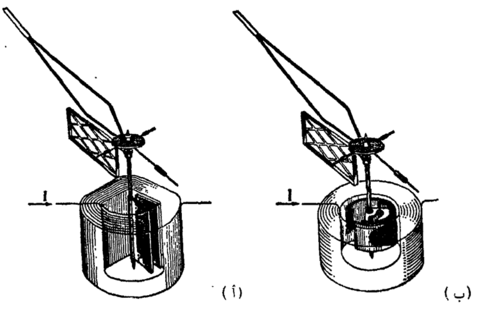
الجزئة التي تمرر غالبية التيار المطلوب قياسه وأما للتيارات العالية جدا فيمكن استخدام محولات تخفيض التيار والمساة بمحولات الاجهزة والتي ستوضح في نهاية الفصل .

5.2 اجهزة الحديدة المتحركة :

هناك نوعان من هذه الاجهزة هما نوع التجاذب ونوع التنافر .

أ ـ نوع التجاذب : لو جربنا تثبيت قطعة حديد من طرفها قرب ملف يحمل تياراً نلاحظ إنجذاب قطعة الحديد الى داخل محور الملف ولو غيرنا أتجاه التيار في الملف لكانت النتيجة نفسها وهي جذب قطعة الحديد نحو محور الملف أيضاً وعلى هذا الاساس يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في أجهزة قياس التيار المتناوب حيث أن قوة الجذب هذه تعتمد على قيمة مربع التيار I^2 وباضافة نابض سيطرة وتدريج يصبح لدينا جهاز قياس متكامل يعمل بمبدأ قوة الجذب المغناطيسية .

ويوضح الشكل (5.2) تركيب جهاز متحرك الحديدة نوع التجاذب حيث يلاحظ وجود قطعتين من الحديد أحداهما ثابتة والاخرى متحركة مثبتة بشكل قطري نسبة الى الملف ويتصل مؤشر القياس مع النابض واثقال الاخماد وبقطعة



الشكل 5.2 جهاز الحديدة المتحرك

أ ـ نوع الريشة المحورية ب ـ نوع الريشة المركزية

الحديد المتحركة فعند مرور التيار في الملف يحصل التجاذب بين قطعتي الحديد بسبب القوة التي تعمل على توجيه قطعة الحديد المتحركة باتجاه مجال الملف. ويمكن تحوير الجهاز الى مقياس تيار أو مقياس فولتية بوساطة المقاومات الجزئة أو المضاعفة .

ب ـ نوع التنافر :

تركب قطعتا الحديد المساة بالريش او الزعانف في هذا النوع سوية قرب بعضها البعض داخل الملف مثبتة بشكل مركزي وعند مرور التيار في الملف تمغنط القطعتان ويكون القطب الشمالي في نهاية والقطب الجنوبي في النهاية الثانية فيحصل التنافر بين الزعنفتين بسبب قرب الاقطاب المتشابهة عن بعضها البعض وتستعمل قوة التنافر هذه للقياس وذلك بتثبيت أحد القطعتين على الملف والثاني على محور دوران المؤشر كما مبين في الشكل (5.2) يمكن اجراء تحويرات في شكل الزعانف بطريقة نحصل فيها على تدريج ذي تقسيمات مختلفة وحسب المطلوب .

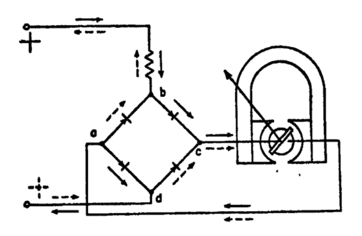
ان ميزات أجهزة القياس متحركة الحديدة هي البساطة والمتانة وعدم وجود أجزاء متحركة يمر فيها التيار ولا يتعرض الجهاز للعطب بسرعة بسبب زيادة التحميل اضافة الى ميزة اخرى وهي سعرها المناسب مقارنة مع أجهزة الداينموميتر الا انها تختلف عنها بدرجة الدقة الواطئة .

لو اردنا مقارنة النوعين التجاذب والتنافر نجد أن نوع التنافر المحوري أكثر حساسية من النوع المركزي وان تدريج النوع المحوري خطي تقريباً الا أن النوع المركزي أكثر دقة بسبب عدم تأثر الزعانف بالتخلفية المغناطيسية .

5.3 أجهزة الملف المتحرك المزودة بمعدّل :

أن أحد الحلول المناسبة لبناء جهاز مقياس فولتية a.c. ذي حساسية عالية أكثر من نوعي الداينموميتر ومتحرك الحديدة هو استخدام معدل قبل تسليط الموجة المتناوبة على ملف دي ارسنفال المتحرك حيث يستقبل تيار مستمر بعد التعديل وبذلك استطعنا قياس الكميات المتناوبة بجهاز الملف المتحرك الخاص بالتيار المستمر والمعروف بخصائصه الجيدة وحساسيته العالية :

يوضح الشكل (5.3) قنطرة تعديل على التوالي مع مقاومة مضاعفة وملف متحرك نوع PMMC ويلاحظ على الشكل اتجاه الاسهم لتوضيح أتجاه التيار في حالته الموجبة (السهم الكامل) وفي حالته السالبة (السهم المنقط) والنتيجة تكون مرور التيار باتجاه واحد في الملف أي تيار مستمر.



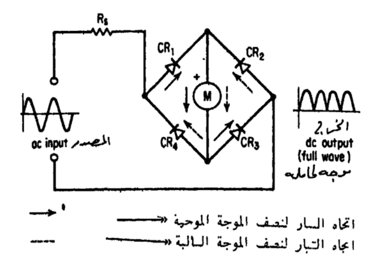
الشكل 5.3 دائرة فولتميتر المزودة بمعدل

يُعد تأشير مؤشر القياس هو لقيمة المعدل ولكن يمكن تغيير التدريج يصبح التأشير للقيمة المؤثرة للتيار الجيبي (r.m.s).

. تنحصر محدودات هذا النوع من أجهزة القياس في التردد بسبب الخاصية السعوية التي تظهر في القنطرة والمعدّلات عند الترددات العالية وكذلك تأثره بالحرارة العالية بسبب اختلاف مقاومة المعدلات بالحرارة وخاصة المقاومة الامامية.

مثال 5.1

يوضح الشكل (5.4) مفياس فولتية حيث تدرج المقياس (0-10Vrms) المطلوب هو حساب قيمة المقاومة المضاعفة علماً ان تيار اقصى تدريج (0-50 µA) وحساسية الجهاز 20 kΩ/ V لفولتية التيار المستمر وبفرض أن قيمة المقاومة الامامية للمعّدلات صفراً 0 Ω أي أنها مثالية.



الشكل 5.4 دائرة قنطرة معدل لموجة كاملة حيث ان التيار في الملف M الاتجاه نفسه دائما على الرغم من ان الدخل تيار متناوب

الحل :

قبل البدء في حل هذا المثال لابد من الاشارة الى آن الملف المتحرك يتأثر بقيمة معدل التيار المار به على الرغم من آن قراءة المقياس هي قيمة جذر معدل التربيع وعليه يجب علينا ترجمة هذا المعنى بايجاد صيغة رياضية يمكن بواسطتها معرفة قيمة المعدل للقراءة التي يسجلها المقياس والتي هي قيمة جذر معدل التربيع ويتم ذلك من العلاقات المعروفة والخاصة بالقيم الجيبية وهي الآتي :

$$V_{rms} = 0.707\ V_{max} \quad \text{--- (5.1)}$$

$$V_{av} = 0.636\ V_{max} \quad \text{--- (5.2)}$$

حيث

$$\frac{V_{av}}{V_{rms}} = \frac{0.636\ V_{max}}{0.707\ V_{max}} = 0.9 \quad \text{--- (5.3)}$$

وعليه فأن قيمة أعلى تدريج وهي $10\ V_{rms}$ يؤشرها مؤشر المقياس على التدريج هي مكافئة لـ 9v تيار مستمر يتأثر بها فعلاً ملف الجهاز .
وبما ان تيار أعلى تدريج هو $50\mu A$ وهي قيمة لتيار مستمر :

$$I_{m(av)} = \frac{V_{(av)}\ \text{المكافيء}}{R_t} = \frac{0.9\ V_{rms}}{R_t}$$

$$\therefore\ 0.5\ mA = \frac{9V}{R_t\ (k\Omega)}$$

$$R_t = 180\ k\Omega.$$

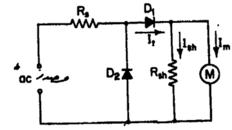
واذا اعطيت قيمة المقاومة الامامية للمعدل الواحد فانها نطرح من R_t لايجاد قيمة مقاومة التوالي R_S .

يلاحظ أن حساسية هذا الجهاز $\frac{180K\Omega}{10V_{rms}} = 18k\Omega/V$ على تدريجه للتيار المتناوب .

ونود الاشارة هنا أنه في الحالات التي يكون فيها شكل الموجة يختلف عن الشكل الجيبي أي مثلثي أو مربع أو غير ذلك فأن علاقة معدل الفولتية وقيمته المؤثرة تحسب بشكل خاص لتلك الحالة المعينة .

أجهزة نصف التقويم :

يلاحظ في الشكل (5.5)- دائرة مقياس الملف المتحرك المزود بمعدّل نصف الموجة .



الشكل 5.5 دائرة فولتميتر نوع المعّدل لنصف الموجة

في الدائرة المبينة اعلاه يصل الى الملف M موجة نصف تقويم بواسطة الثنائي D_1 لذا فالملف يستقبل نصف التيار المقوم وينحرف المؤشر حسب معدل قيمة هذا النصف من الموجة . و R_{sh} فائدتها لسحب تيار أكثر من D_1 وجعلها تعمل في الخط المستقيم لبياني خواص الثنائي . وبغياب D_2 يتسبب مرور تيار عكسي في D_1 وبوجود D_2 يعود النصف الثاني من الموجة السالب مباشرة عن طريق D_2 دون المرور بالملف والمقاومة R_{sh} . ان مركبة الـ d.c. للموجة الجيبية لنصف موجة تساوي 0.45 من قيمة جـ.م.ت فتظهر مشكلة الحصول على الانحراف نفسه عند قياس الـ d.c. والـ a.c حيث أن المضاعف للـ a.c يجب أن يكون أوطأ والمثال الآتي يبين هذه الحالة :

مثال 5.2

مقياس مقاومته الداخلية للملف 100Ω يحتاج الى 1mA لانحراف كامل . قيمة R_{sh} هي 100Ω ولثنائي D_1 ، D_2 مقاومتها الامامية 500Ω ومقاومتها الخلفية غير منتهية بالاتجاه العكسي . للتدريج 100V a.c. أحسب :

أ ـ قيمة المضاعف R_s

ب ـ حساسية الفولتميتر على التدريج a.c.

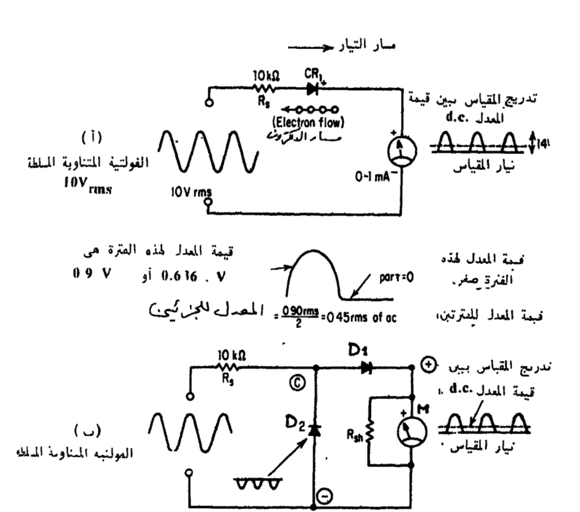
الحل :

بما أن كلا من R_m و R_{sh} تساوي 100Ω فأن المصدر يجب أن يجهز للحصول على انحراف كامل وبتيار مقداره $I_t = 2mA$ ولتقويم نصف الموجة فإن قيمة الـ d.c. المكافئة للـ a.c. المقوم سيكون :

$$\therefore V_{d.c.} = 0.45\ V_{rms} = 0.45 \times 100 = 45\ V$$

المقاومة الكلية للجهاز R_t حيث :

$$R_t = \frac{V_{dc}}{I_t} = \frac{45V}{2mA} = 22500\Omega$$



التكل 5.6 دائرة مقياس دولبة نوع المعدل لنصف الموجة
(أ) الدائرة بشكل مبسط (ب) الربط العملي للدائرة

تنتج هذه المقاومة عن عدد من الاشياء . وبما أننا نهتم بنصف الموجة الذي يصل الملف، نهمل المقاومة D_2 العالية جدا اذ :

$$R_t = R_s + R_{D1} + \frac{R_m \, R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

وان :

$$R_t = R_s + 500 + \frac{100 \times 100}{200} = R_s + 550$$

وعليه فأن :

$$R_s = 22500 - 550 = 21{,}950\Omega.$$

ب ـ وتكون حساسية مقياس الفولتية على التدريج $100V_{ac}$/ هي :

$$S = \frac{R_t}{V_{ac}} = \frac{22500}{100} = 225\Omega/V$$

وتكون حساسية الملف نفسه المستعمل في فولتميتر الـ dc هي $1000\Omega/V$

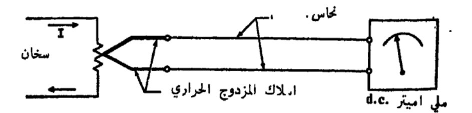
5.4 مقياس فولتية الكهربائية المستقرة :

يعتمد عمل مقاييس فولتية الكهربائبة المستقرة على فعل القوة بين الشحنات الكهربائية اذ لو شحنت الاقطاب المتجاورة بشحنتين مختلفتين لنتج قوة جذب بينهما وتعتمد قوة الجذب هذه على عوامل مختلفة منها كمية الشحنة والشكل الهندسي للاقطاب وبذلك يمكن الاستفادة من هذه الخاصية للقياس .

تستخدم هذه الطريقة لقياسات الفولتيات العالية جداً وذلك بتأثير القوة بين قرصين ،بعد تسلبط الفولتية المراد قياسها على القرصين ويشترط مراعاة المسافة بين القرصين لكي لايحدث تفريغ كهربائي بينهما . وتتناسب القوة مع مربع الفولتية المسلطة ولذلك تكون قراءة المقياس للفولتيات المتناوبة مساوية لقيم جذر معدل التربيع لتلك الفولتية . ويمكن أيضاً استخدامها لقياس الفولتيات العالية للتيار المستمر .

5.5 اجهزة القياس الحرارية :

أن اساس هذه الاجهزة هو المزدوج الحراري Thermocouple حيث يتكون من سلكين كل سلك من مادة تختلف عن الآخر ولها خاصية امرار تيار كهربائي عند ربط السلكين مع بعضهما لاكمال الدائرة الكهربائية بوضع احد نهايتي الربط في مكان درجة حرارته أعلى من النهاية الاخرى لاحظ الشكل (5.7) . ويمكن استخدام المزدوج الحراري لقياس درجة الحرارة حيث توضع إحدى النهايات في المكان المراد قياس درجة حرارته والنهاية الاخرى في مكان آخر معروفة درجة



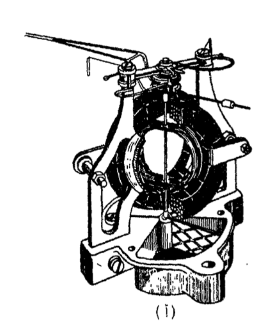
الشكل 5.7 دائرة مقياس تيار نوع المزدوج الحراري

حرارته بطريقة يتم المحافظة فيها على درجة الحرارة وتكون ثابتة . ويمكن قياس التيار بالاساس نفسه وذلك بجعل الطرف الساخن متصل حرارياً (ولا يشترط الربط مباشرة او توصيلة كهربائياً) بسخان يمر فيه تيار وجعل الطرف البارد قريباً من الطرف الساخن بطريقة لا يحصل فيها فرق في درجة الحرارة بينهما الاّ بعد مرور التيار في السخان .
وتلحم اسلاك المزدوج الحراري في منتصف السخان وتثبت على عازل كهربائي لعزل المقياس الذي يحوي المؤشر والتدريج عن جزئه الآخر وهو اسلاك المزدوج الحراري لمنع تسرب التيار من المصدر الذي يغذي السخان الى جهاز القياس عن طريق التوصيل الكهربائي بواسطة الاسلاك ولكن ذلك يعمل على تأخير استجابة المقياس للتغييرات في الحرارة .
وأخيراً لابد من الاشارة الى أن المزدوج الحراري يقيس قيمة جذر معدل التربيع بغض النظر عن شكل الموجة لان الحرارة تتناسب مع العلاقة I^2R .

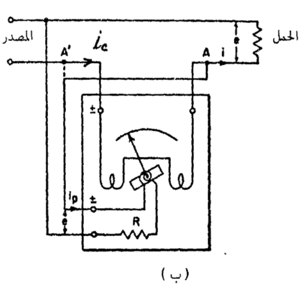
5.6 مقاييس القدرة :

مقاييس القدرة (الواطميتر) ذو الطور الواحد يمكن اجراء تحوير في طريقة ربط الملفات الداينموميتر ليصبح مقياس قدرة ذي طور واحد كما هو موضح في الشكل (5.8) .

اذ تدعى الملفات الثابتة بملفات المجال وتربط على التوالي مع الخط وتحمل التيار i_c ويربط الملف المتحرك على التوالي مع محدد التيار R عبر الخط ويحمل التيار i_p اذ أن ($i_p = \frac{e}{R_p}$) وان e هي فولتية الخط و R_p مجموع مقاومة ملف الفولتية و R . يتناسب انحراف الملف مع حاصل ضرب التيارين i_c و i_p ويكون معدل الانحراف :



(أ)



(ب)

الشكل **5.8** مقياس القدرة (الواطمتر) طور واحد
أ ـ يظهر الملفان الثابتان والملف المتحرك بينهما
ب ـ دائرة الجهاز والربط الى المصدر والحمل .

$$\theta_{av} = K \frac{1}{T} \int_{0}^{T} i_c \, i_p \, dt \quad ....(5.4)$$

Qav = معدل الانحراف الزاوي للملف .

K = ثابت الجهاز .

i_c = التيار الآني في ملف المجال .

i_p = التيار الاني في ملف الفولتية .

نفرض أن i_c يساوي تيار الحمل i وفي الحقيقة $(i_c = i_p + i)$ وحيث أن $i_p = e/R_p$ تصبح المعادلة (5.4) :

$$\theta_{av} = K \frac{1}{T} \int_{0}^{T} i \frac{e}{R_p} dt \doteq K_2 \frac{1}{T} \int^{T} eidt \quad ..(5.5)$$

ومن التعريف لمعدل القدرة في الدائرة :

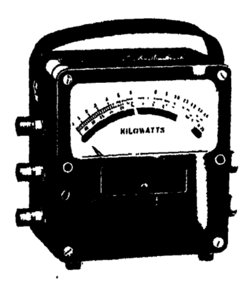
$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} eidt \quad (5.6)$$

يلاحظ من المعادلتين (5.5) و (5.6) ان انحراف الداسومبتر يتناسب مع القدرة واذا كانت e و i جيبية فأن $e = E_m \sin\omega t$, $i = I_m \sin(\omega t \pm \Phi)$

وتصبح المعادلة (5.5) بالشكل الاتي :

$$\theta_{av} = K_3 EI \cos\Phi$$

اذا تمثل E و I قيم جـ . م ت . للفولتية والتيار وتمثل Φ زاوية الطور بين الفولتية والتيار . تحوي مقاييس القدرة عادة نهاية فولتية واحدة وكذلك نهاية تيار واحد مؤشر عليها ± او اشارة نجمة وعند ربط نهاية ملف التيار المؤشره الى الخط الداخل ونهاية ملف الفولتية المؤشرة الى نهاية ملف التيار الغير مؤشرة

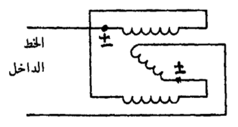


الشكل 5 9

الشكل 5.9 منظر خارجي لجهاز القُدرة طور واحد .

فإن قراءة المقياس تكون صحيحة عند ربط حمل معين به والشكل 5.10 يوضح طريقة الربط الصحيحة .

أما اذا كانت القراءة بصورة معكوسة فيجب عندها عكس ربط لفيفة التيار .

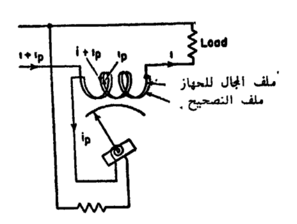


الشكل 5.10 ربط نهايات الملفات في مقياس القدرة .

5-6-1 استخدام ملف التصحيح Compensating Winding. في مقياس القدرة :

يتوضح في الدوائر الخاصة بانواع مقاييس القدرة، أن تيار الحمل الرئيسي لايمر خلال المقياس ولا يسلط على الجهاز نفس فولتية الحمل وعليه ولتلافي عواقب هذه المشكلة وجعل المقياس يتحسس بقيم تيار وفولتية الحمل ولكي يقرأ قراءة صحيحة يصمم ملف التيار من ملفين كل ملف يحوي نفس العدد من اللفات ويتكون الملف الأول من سلك سميك يحمل تيار الحمل مضافاً اليه تيار ملف الفولتية اما الملف الاخر فيتكون من سلك رفيع يحمل تيار ملف الفولتية فقط ويكون هذا التيار موجهاً بعكس اتجاه تيار الملف السميك لكي يتعادل مجال هذا التيار مع جزء من المجال المساو له في الكمية والمتكون بسبب مروره في الملف السميك .

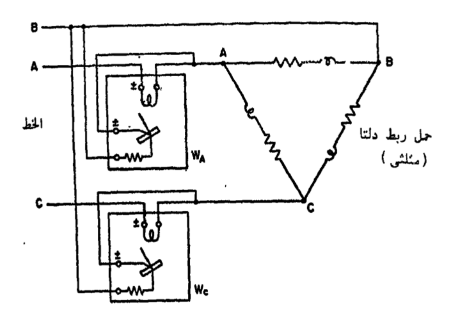
وعليه فأن تأثير تيار ملف الفولتية أصبح مهملاً ونحصل على قراءة صحيحة لمقياس القدرة .



الشكل 5.11 توضيح طريقة ربط ملف التصحيح في مقياس القدرة

5.6-2 مقياس القدرة لثلاثة أطوار :

يمكن قياس قدرة دوائر الاطوار الثلاثة المتزنة بمقياس القدرة ذي الطور الواحد ويكون الربط كما موضح في الشكل (5.12) .



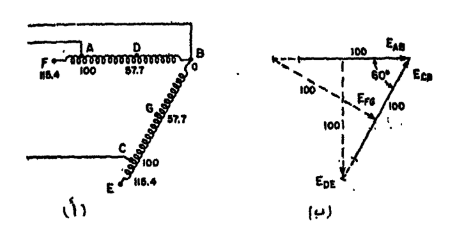
الشكل 5.12 ربط مقياسات للقدرة لقياس قدرة الحمل الثلاثي الاطوار بثلاث اسلاك

وفي حالة عدم الاتزان ووجود الحمل بشكل نجمي وظهور سلك التعادل تستخدم ثلاثة مقاييس للقدرة ذوي الطور الواحد وتكون القدرة الكلية هي مجموع القراءات ويحتمل ايضاً آن تكون احدى القراءات سالبة بسبب عامل القدرة لذا يجب العناية بالربط الصحيح وأخذ الاشارات بنظر الاعتبار عند الجمع .

5.6-3 مقياس القدرة الخيالية (ڤار VAR) :

نحتاج في قياسات منظومات القدرة المختلفة الى معرفة قيمة القدرة الخيالية أو القدرة المتفاعلة فضلاً عن القدرة الحقيقية . ويدعى الجهاز المستخدم لهذا الغرض فارميتر حيث يقرأ حاصل ضرب التيار في الفولتية المتفاعلة . والجهاز أساساً يشبه الواطميتر وهو يحوي أداة الازاحة الطور °90 عن فولتية الحمل الاصلية .

يمكننا أجراء هذا النوع من الازاحة بزاوية الطور في دائرة طور واحد بدائرة تحوي مكونات R ، L ، C وبمقادير يمكن حسابها لهذا الغرض ولكن لتردد واحد وهناك طريقة أخرى لاحداث الازاحة في زاوية الطور بمحولة وكما موضح في الشكل (5.13) .



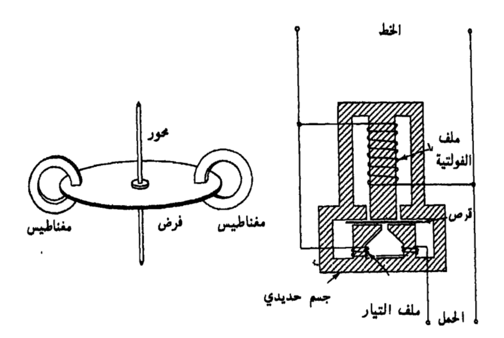
الشكل 5.13 ربط ملفات المحولة لاحداث ازاحة 90 في الطور لاغراض مقياس القدرة المتفاعلة (أ) نقاط ربط ملفات المحول (ب) المخطط الطوري

يوضح الشكل السابق محولة ربطت بشكل مثلث مفتوح كما ربطت أسلاك الخط الى A ، B ، C حيث يمكننا الحصول على قيمة فولتيتين لهما قيمة فولتية الخط نفسها ولكن بزاوية طور 90° . فلو أخترنا نقاط الربط D وهي 57.7 بالمائة من طول الملف AB والنقطة E وهي 15.4 بالمائة خلف C فأن مخطط طور الفولتيات من D الى E هو 100 بطول وحدة مثل A-B ولكن D-E زاويته 90° عن A-B وكذلك F.G بطول 100 وحدة و 90° عن C-B ولو ربطنا مقياس القدرة كما في ربط مقياس القدرة (A و C) عدا أن مقياس القدرة A بربط تكون الفولتية فيه D-E بدلاً من A-B ومقياس القدرة C ويربط بالفولتية F.G بدلاً من C-B لحصلنا على 90 زحف والمقاييس تقرأ القدرة المتفاعلة .

5.7 مقياس الطاقة (واط ـ ساعة) :

يوضح الشكل (5.14) مقياس الطاقة المستخدم في المحلات والابنية المختلفة والبيوت والتي تستهلك الطاقة الكهربائية بطور واحد .
فملف التيار يربط على التوالي مع الخط وملف الفولتية عبر الخط . وكلاً من الملفين ملفوفين على الهيكل الحديدي نفسه مكونة دائرتين مغناطيسيتين . ويوجد قرص معلق من الالمنيوم في الفجوة الهوائية في مجال ملف التيار والذي يسبب

تكوين التيارات الدوارة فيه حال مرور التيار الى المستهلك . ونتيجة تداخل المجال الذي يسببه ملف الفولتية ووجود التيارات الدوارة في القرص يتسبب عزم دوران على القرص (يشبه دوران المحركات) والعزم الناتج يتناسب مع شدة المجال للملف الفولتية والتيارات الدوارة في القرص والتي تكونت هي الاخرى بسبب مجال ملفات التيار .



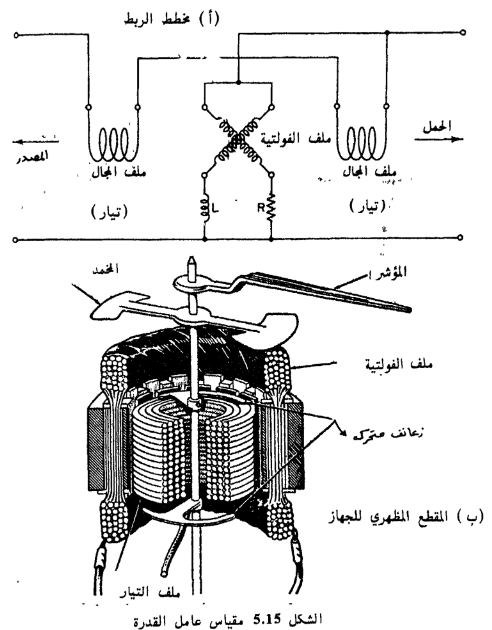
الشكل 5.14 مكونات مقياس الطاقة

إن عدد الدورات للقرص يتناسب مع الطاقة المستهلكة من قبل الحمل لفترة معينة وتقاس عادة بالكيلو واط ـ ساعة **(kwh)** والمحور الذي يرتكز عليه القرص يتصل بعتلات ومؤشرات تتحرك بموجب كمية استهلاك الطاقة وتؤشر كمية الـ **kwh** . يمكن مضاءلة حركة القرص بمغناطيسين دائميين موضوعين على جانبي القرص الواحد عكس الآخر . وإن ذلك يعوض عن النابض والاثقال التقليدية الموجودة في المقاييس الاخرى .

يمكن معايرة الجهاز بتحريك أماكن المغناطيس الدائمي إلى أن يقرأ القراءة الصحيحة ثم يربط الى الحمل .

5-8 مقياس عامل القدرة :

يعرّف عامل القدرة بأنه جيبتام زاوية الطّور بين الفولتية والتيار . ويعني قياس عامل القدرة معرفة زاوية الطور . يتكون الجهاز من داينموميتر الاّ أن الملف الدوار يتكون من جزئين متصلين بمحور واحد ومتعامدين على بعضها البعض . وتدور الملفات المتحركة في مجال يكونه ملف المجال الذي يحمل تيار الخط . لاحظ الشكل (5.15) .



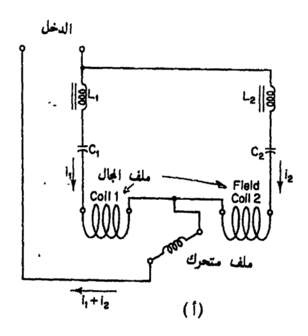
الشكل 5.15 مقياس عامل القدرة

تعتمد محصلة العزوم في كل ملف على التيار خلال الملف وعليه يعتمد على ممانعة دائرة ذلك الملف . ويعتمد العزم أيضاً على الحاثة التبادلية بين كل جزء من الملفات المتعامدة وملف المجال الثابت وتعتمد الحاثة التبادلية هذه على الوضع الزاوي لكل من الملفات المتعامدة نسبة الى وضع ملف المجال الثابت . ولذا فأن المؤشر يبين عامل القدرة للاحمال حسب نوعها .

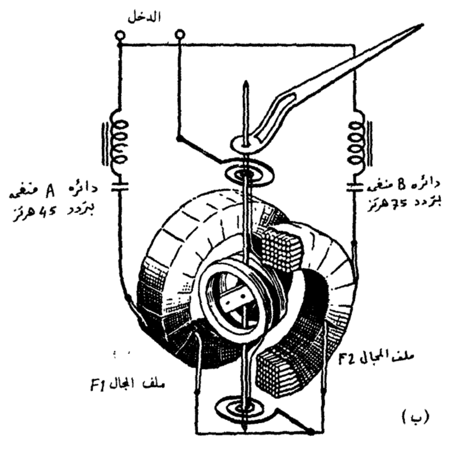
5-9 مقياس التردد :

يمكن معرفة التردد بطرق متعددة منها استخدام تأثير الحاثة التبادلية ورنين الدائرة الكهربائية والرنين الميكانيكي . او بوساطة الاجهزة الالكترونية الحديثة مثل الراسم الكهربائي ومعدات التردد وغيرها .

•ومثال لاستخدام رنين الدائرة الكهربائية هو موضح في الشكل (5.16) والمكون من مقياس تردد يستخدم هذه الفكرة . ويلاحظ من الشكل بأن التيار المسبب لعزم الدوران هو مجموع تياري دائرتي الرنين حيث :



(أ)



الشكل 5.16 مقياس التردد

(أ) مخطط الربط (ب) المقطع المظهري للجهاز

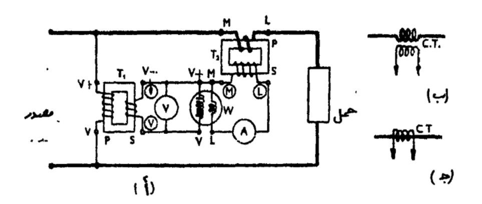
١ ـ الملف 1 يعمل فوق الرنين والتيار i_1 يختلف عن الفولتية المسلطة .

٢ ـ الملف 2 يعمل تحت الرنين والتيار i_2 يسبق الفولتية المسلطة .

لذا فإن التيارين متعاكسين ومحصلة العزم هو دليل التردد المسلط . في حالة استخدام الجهاز لقياس تردد القدرة الكهربائية على الخطوط فأن كل من دائرتي الرنين تنظم على الترددات 75Hz و 45Hz لان تردد الخط بالوسط 50Hz او 60Hz .

5.10 محولات الاجهزة :

تستخدم محولات التيار (C.T) ومحولات الفولتية (V.T) لزيادة تدريج بعض الاجهزة مثل مقاييس التيار والفولتية والقدرة وكذلك مقاييس عامل القدرة والتردد وغيرها من الاجهزة المستخدمة في لوحات القدرة الكهربائية العالية . والشكل(5.17) يوضح استخدام محولات الاجهزة .



الشكل 5.17 دائرة ربط محولات التيار والفولتية مع اجهزة القياس .

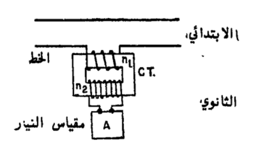
محولة الفولتية T_1 فيها فولتية الثانوي قليلة نسبياً بالمقارنة مع فولتية الابتدائي العالية وبعايرة مقياس الفولتية يمكن قراءة الفولتية العالية ولو أن الفولتية التي تصل المقياس تكون واطئة وبنفس الطريقة يمكن الاستفادة من محولة التيار T_2 بحيث يكون التيار الذي يصل المقياس قليلاً نسبة الى التيار الابتدائي ويعبر تدريج المقياس نسبة الى تيار الحمل العالي . واما مقياس القدرة والذي يحوي ملفين احدهما للتيار والآخر للفولتية فانه يمكن الاستفادة من محولتي الفولتية والتيار لقراءة القدرة .

وعليه يلاحظ بأن مقاييس الاجهزة في دوائر التيار المتناوب تستخدم لزيادة تدريج المقاييس فتقوم مقام المقاومات المضاعفة في مقاييس الفولتية والمقاومات الجزئة في مقاييس التيار فضلاً عن الفائدة الاخرى وهي عزل الفولتية العالية والتيار العالي عن المقاييس كهربائياً حيث يبقى الاتصال عن طريق المجال المغناطيسي وعليه فلا يتطلب ان تكون الاجهزة ذات عزل خاص ويمكن تأريضها ليكون استخدامها أميناً وخالياً من الخطورة .

هذا ولا يغيب عن البال بأن القدرة الضائعة نتيجة استخدام هذه المحولات اقل بكثير من القدرة الضائعة في المقاومات المضاعفة او المجزئة .

5.10.1 محولات التيار (C.T) :

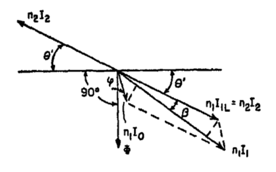
تستخدم محولات التيار لقياس تيار الخط او المصدر في منظومة التيار المتناوب حيث يربط الملف الابتدائي على التوالي مع سلك الخط والملف الثانوي يربط مع المقياس او المقاييس مثل مقاييس التيار والقدرة والطاقة وغيرها . ويكون الربط كالمبين في الشكل(5.18) يختلف محول التيار عن محول القدرة المعروف في ناحيتين الاولى أن اشتغال محول التيار يعتمد على حالة الدورة القصيرة حيث أن تيار الثانوي (وهنا يستخدم مصطلح « المحدد ») يكون ذو ممانعة واطئة .
والثانية هي أن تيار ملف الثانوي يعتمد على تيار الملف الابتدائي وليس على ممانعة الدائرة الثانوي كما هو الحال بالنسبة الى محولات القدرة . ويتحدد تيار الابتدائي نسبة الى الاحمال المتصلة بالخط وإن تيار الثانوي ينسب الى الابتدائي بنسبة مقلوب عدد اللفات .



الشكل 5.18 ربط التيار على خط ذو طور واحد .

هذا وإن محدد الثانوي يمكن ان يغير لمدى كبير دون ان يحصل تأثير كبير على تيار الثانوي وهذه خاصة مهمة للمحول لاغراض القياس .

إن النسبة الحقيقية للتيارات يمكن ايجادها بوساطة حاصل ضرب التيارات في عدد اللفات وذلك للحصول على مخطط طوري متناسق كما موضح في الشكل (5.19) :



الشكل **5.19** مخطط الامبير ـ لفة لمحول التيار.

حيث أن المركبة $n_1 I_1$ (I_1 تيار الحمل) يساوي $n_2 I_2$ (I_2 تيار المقياس).
وإن $n_1 I_2$ تمثل القوة الدافعة المغناطيسية mmf لتكوين المقاومة المغناطيسية في اللب الحديدي.
وإن محول التيار المثالي يعطي تياراً ثانوياً بموجب نسبة اللفات وبزواية طور 180 درجة. وإن المحولات المثالية تختلف عن الحقيقية بمقدار التيار I_0 وبتسقيط المقادير الطورية على $n_1 I_1$:

$$n_1 I_1 = n_2 I_2 \cos \beta + n_1 I_0 \cos (90^\circ - \theta' - \phi - \beta)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \cos \beta + \frac{I_0}{I_2} \sin(\theta + \phi + \beta)$$

وبما أن β صغيرة جداً وبحدود درجة واحدة او اقل فإن النسبة تصبح :

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{n_2}{n_1} + \frac{I_0}{I_2} \sin (\theta - \phi)$$

$$\frac{I_1}{I_2} \simeq \frac{n_2}{n_2} \left[1 + \frac{I_0}{I_1} \sin (\theta - \phi) \right]$$

ويلاحظ من المعادلة الاخيرة بأن الحد الاول بين الاقواس هو نسبة اللفات في حالة المحولة المثالية والحد الثاني هو لتصحيح الخطأ . ويلاحظ بأنه يفضل أن تكون نسبة (I_0 الى I_1) قليلة او أن I_0 نفسها تكون قليلة وأن ذلك يتطلب أن يكون لب المحلول الحديدي ذو نفاذية عالية واما العامل (ϕ- θ) sin فيعتمد على نوع المحدد فيكون صغيراً للمحدد المقاومي وكبيراً للمحدد الحثي واما زاوية الطور بين التدفق والتيار ϕ فيعتمد على مادة اللب وتكون صغيرة للب الذي فيه الضياع قليلاً .

واما معادلة الزاوية β فيمكن اشتقاقها من الشكل حيث :

$$\tan \beta = \frac{n_1 I_0 \sin (90 - \phi - \theta - \beta)}{n_2 I_2 \cos \beta}$$

وبما أن زاوية β صغيرة فيمكن أعادة كتابة المعادلة بالشكل الآتي وذلك بالاستفادة من قانون الفرق بين جيبتام زاويتين وعلى أن $\text{Cos } \beta = 1$

حيث :

$$\tan \beta = \frac{n_1 I_0 \cos (\phi - \theta)}{n_2 I_2}$$

وبالتقريب حيث $n_1 I_1 = n_2 I_2$ نحصل على :

$$\beta \text{ الزاوية } \simeq \frac{I_0}{I_1} \cos (\theta - \phi) \text{ زاوية نصف قطرية}$$

تدعى الزاوية β بزاوية طور الخطأ بسبب عدم التمكن من حصول الحالة المثالية في فرق زاوية الطور بـ 180^0 درجة بين تياري الابتدائي والثانوي .

إن من محددات محولات التيار حالة اشباع اللب الحديدي حينما يكون تيار الابتدائي عال جداً والحدد الآخر هو الحفاظ على أن تكون ممانعة الثانوي واطئة جداً ويجب تجنب فتح نهايات الثانوي عندها سوف تستمر فولتية الثانوي بالصعود بسبب عدم موازنة زيادة الامبير ـ لفة للابتدائي . وربما تصل فولتية

الثانوي الى 1000 فولت . وهي خطرة للاشخاص والاجهزة المرتبطة بالملف الثانوي .

مثـــال :

محول تيار نسبة التحويل فيه 1000/s أمبير ممانعة الثانوي 04 + j0.3 أوم عند قيمة تيار الاشتغال $n_1 I_0 \sin \theta^- = 1.5A$, $n_1 I_0 \cos \theta^- = 6A$ عدد لفات الابتدائي 4 لفات أحسب نسبة خطأ زاوية الطور عندما يكون عدد لفات الثانوي (أ) 800 لفة (ب) 795 لفة .

والفرق الجوهري هو :

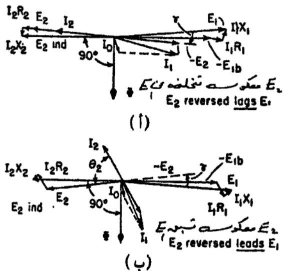
اولاً :

الاهتمام في محولات الفولتية بدقة نسبة التحويل أكبر .

ثانياً :

تقليل الهبوط في ملفات محولات الفولتية قدر الامكان لمنع فرق الطور وخطأ نسبة التحويل .

والاشكال الآتية توضح ذلك في حالة كون المحدد أي ممانعة المقياس تشكل عامل قدرة واحد وعامل قدرة 0.5 ويمكن أتخاذ القرار من الاشكال بأن E_2 متخلفة عن E_1 وللحمل المقاومي :



الشكل 5.21 يبين تأثير عامل القدرة على علاقة المقادير الطورية لمحول الفولتية

(أ) عامل القدرة واحد

(ب) عامل القدرة 0.5

$$\phi = \tan^{-1} \frac{0.3}{0.4} = 36^o \quad 52$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1.5}{6} = 14^o \quad 6$$

الحـــل :

$$\therefore 90 - (\theta - \phi) = 39^o \quad 6$$

من المخطط الطوري :

$$n_1 I_1 = 4 \times 1000 = 4000$$

$$n_2 I_o = 800 \sqrt{6^2 + 1.5^2} : 800 \times 6.186$$

خطأ نسبة التيار = $\frac{n_2}{n_1} \frac{I_2}{I_1} \quad (\theta + \phi) = \frac{800 \times 6.186}{4000} \quad .(14\ 2 + 36^o\ 52\ )$

عندما $n_2 = 800$

وبالطريقة نفسها توجد النسبة عندما $n_2 : 795$

خطأ الطور $\beta = \frac{I_o}{I_1} \cos \theta + \phi)$

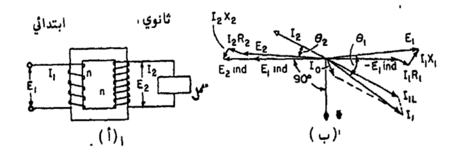
$$= \frac{6.186}{1000} \text{ Cos } (14^o\ 2 + 36^o\ 52\ ) =$$

وهو نفسه للحالة الثانية بسبب صفر الزاوية .

5.10.2 محـولات الفولتيـة (V.T) :

تستخدم لتشغيل مقاييس الفولتية والقدرة وملفات الفولتية في المرحلات . وفي جميع الاستعمالات تكون فولتية الثانوي جزء من فولتية الابتدائي ولبعض الاستعمالات يكونان بنفس الطور ولا يوجد فرق جوهري بين هذا النوع من

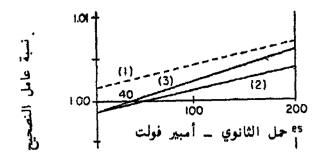
المحولات ومحولات القدرة الاعتيادية إلا في قدرتها القليلة وعزل الملف الثانوي عن الابتدائي الخاص وتأربضه لاغراض الامان ، وإن المخطط الطوري مشابه وكما موضح في الشكل أدناه :



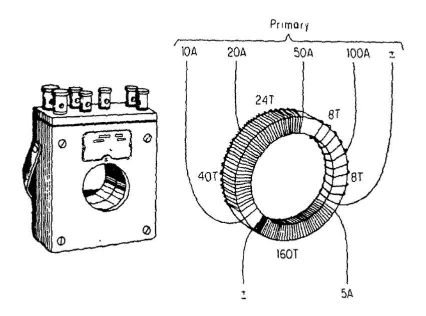
الشكل 5.20 مخطط محول القدرة او محول الفولتية
(أ) ربط المحول (ب) المخطط الطوري

وتسبق للحمل الحثي وكذلك نسبة E_1 / E_2 اكبر عندما تكون زاوية طور الحمل او المحدد نفس زاوية الطور المحول . والنقطة الاخرى الواجب ذكرها هو أننا لو زودنا محدد الفولت ـ أمبير فإن هبوط الفولتية وخطأ نسبة التيار يزداد والشكل التالي يوضح ذلك .

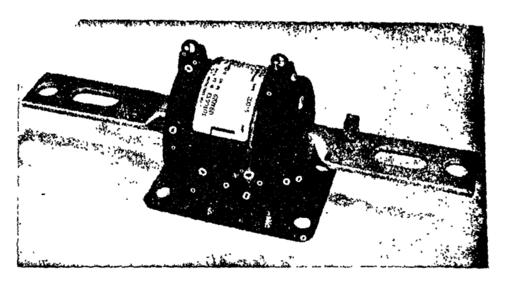
يوضح الشكلان (5.23) و (5.24) أنواعاً مختلفة من محولات التيار والفولتية والتي تستخدم في الناحية العملية .



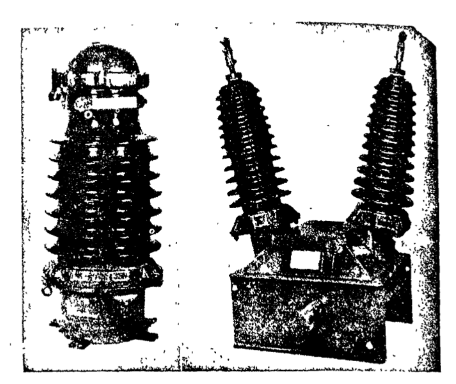
الشكل 5.22 منحنيات عامل تصحيح النسبة لمحول الفولتيه .
(١) نسبة اللفات = نسبة الفولتية المقررة (عامل القدرة واحد)
(٢) زيدت لفات الثانوي (عامل القدرة واحد)
(٣) زيدت لفات الثانوي (عامل القدرة 0.5)



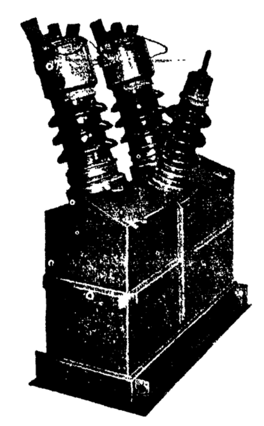
(أ) محولة تيار ربط ومطهر للاغراض المختبرية



(ب) محولة تيار مطهر خارجي لاغراض لوحات القدرة العالية



(حـ) مظهر خارجي لأحد انواع محولة الفولتية



(د) مظهر خارجي لنوع آخر من محولات الفولتية

الشكل 5.23 أنواع مختلفة من محولات التيار والفولتية .

مسائل الفصل الخامس

السؤال الاول : ضع علامة صح لواحد من النصوص الثلاثة لكل سؤال

١ . يستعمل الجهاز الكهروديناميكي Electrodynameter لقياس :

أ ـ فولتية وتيار الـ d.c.

ب ـ القدرة وعامل القدرة

جـ ـ التردد وزاوية الطور

٢ . اساس عمل الجهاز الكهروديناميكي يعتمد على العزم الذي يتناسب مع :

أ ـ التيار

ب ـ مربع التيار

جـ ـ حاصل ضرب التيار وعدد لفات الملف الدوار

٣ . جهاز متحرك الحديدة Moving Iron الاكثر شيوعاً في الاستعمال هو نوع :

أ ـ التجاذب

ب ـ التنافر

جـ ـ التجاذب والتنافر متساويا الأهمية

٤ . يستخدم جهاز التقويم Rectifier type Inst. لقياس :

أ ـ الفولتية المستمرة

ب ـ التيار والفولتية المتناوبة

جـ ـ التردد

٥ . في اجهزة التقويم الكاملة مكافىء الـ d.c المسلط على الملف يساوي :

أ ـ 0.9 قيمة جـ م ت للفولتية على نهايات الجهاز .

ب ـ 0.45 قيمة جـ م ت للفولتية على نهايات الجهاز .

جـ ـ 1.11 قيمة جـ م ت للفولتية على نهايات الجهاز .

٦ . أ ـ في اجهزة نصف التقويم، واجب ثنائي التوالي D_1 لغرض التقويم وثنائي التوازي D_2 لمنع وصول الجزء السالب من الموجة الى الملف الدوار .

ب ـ واجبات D_1 و D_2 معكوس ما ذكر في (أ) اعلاه

جـ ـ يقوم كلا من الثنائيات D_1 و D_2 بمنع نصف الموجة الموجب والسالب من الوصول الى الملف الدوار على التعاقب .

٧ . ملف التصحيح compensating في اجهزة الواطميترات الغرض منه :

أ ـ يساعد في قراءة القدرة للترددات العالية

ب ـ يصحح قراءة الواطميتر

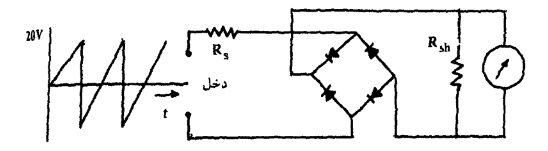
جـ ـ يحسن عامل القدرة

٨ . يعمل مقياس الطاقة على أساس تأثير :
أ ـ المجال المغناطيسي لملف الفولتية مع التيار الدوار في القرص .
ب ـ المجال المغناطيسي لملف الفولتية مع المجال المغناطيسي لملف التيار .
جـ ـ المجال المغناطيسي لملف الفولتية والتأثير الحراري لتيار الحمل .
٩ . يحوي مقياس التردد :
أ ـ دائرة رنين واحدة
ب ـ ثلاثة دوائر للرنين
جـ ـ دائرتي رنين
١٠ . محولات التيار والفولتبة تتواجد في :
أ ـ لوحات الضغط العالي
ب ـ لوحات الضغط الواطىء
جـ ـ في قاطع الدورة الدهني .

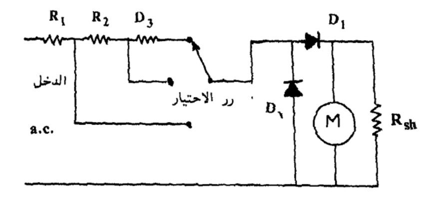
السؤال الثاني :
أ) ارسم دائرتي الاوميتر المتوالي والاوميتر المتوازي مبيناً العناصر المهمة للدائرة على الرسم فقط .
ب) صمم اوميتر نوع المتوالي الذي فيه تيار الملف المتحرك لا نحراف اقصى تدريج **1.0mA** والمقاومة الداخلية للملف **50 Ω** . فاذا كانت فولتية البطارية **6V** وقيمة مقاومة منتصف التدريج المرغوبة **3000Ω** . احسب .
(أ) قيمة كل من مقاومة تحديد التيار ومقاومة التصفير ب) المدى الذي يتم تغير مقاومة التصفير في حالة تغير فولتية البطارية من **5.5V** الى **6.5V** مستعملاً قيمة مقاومة تحديد التيار المستخرجة في الفرع (أ) اعلاه .

السؤال الثالث : أ) ارسم مخطط جهاز مقياس القدرة (واطميتر) مبيناً فيه ربط ملف التصحيح ومع ذكر فائدته ؟
ب) المقياس الموضح في الشكل ادناه فيه :
المقاومة الداخلية للملف $R_m = 200\ \Omega$
المقاومة الموازنة للملف $R_{sh} = 200\ \Omega$
تيار اقص تدريج $I_m = 1mA$
المقاومة الامامية لكل مقوم (Diode) $r_b = 50\ \Omega$
إذا علمت ان فولتية الدخل كانت موجه بشكل مثلثي ارتفاعه الاقص **20V** بتردد **50HZ** احسب :

١ . قيمة المقاومة المتوالبة R_s للحصول على اقص انحراف في التدريج .
٢ . حساسية الفولتمبتر . (S)
٣ . اذكر فائدة كل من المقاومات (Rsh ، Rs)



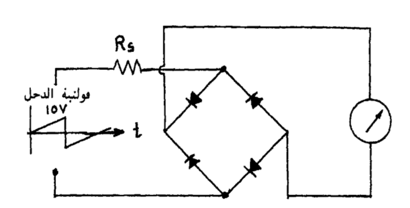
السؤال الرابع :
لاحظ الشكل المجاور وأجب على ما يلي :
أ) ماذ يمثل المخطط
ب) ما هو العرض من المقاومة
جـ) ما فائدة D2
د) مالغرض من R_1, R_2, R_3



لاحظ الشكل اذا علمت أن مقاومة الملف المتحرك 100 اوم وتيار اقصى تدريج 1 ملي أمبير والمقاومة R_{sh} = 75 أوم . والمقاومة الامامية للثنائيات (دايود) 100 أوم والعكسية مالانهاية احسب قيم R_3 و R_2 و R_1 لانحراف كامل للمؤشر على التدريج اذا كان شكل الموجة المتناوبة المسلطة شبه منحرف اقصى قيمة للفولتية فيه 10 فولت والتردد 50 هرتز .

السؤال الخامس :

جهاز فولتميتر a.c ذو تقويم كامل الموجة كالمبين في الشكل أدناه . مقاومة الملف المتحرك 200 Ω وتيار أقصى انحراف للتدريج 1 ملي أمبير . المقاومة الاماميه للثنائيات 100 Ω والمقاومة العكسيه لانهاية . احسب (أ) قيمة R_s لانحراف كامل للمؤشر على التدريج اذا كان شكل الفولتية المسلطة عبارة عن مثلث واقصى قيمة للفولتية 10V والتردد50Hz (ب) حساسية الجهاز .



السؤال السادس

صمم جهاز ملي ميتر يقرأ الفولتية والتيار والمقاومة وذو الخواص الآتية

أ) مدى الفولتية 0-5 ، 0-25 ، 0-100 ، 0-50 فولت تيار متناوب

ب) تدريج التيار 0-10 . 0-100 . 0-50 0-1000 ملي امبير

جـ) مدى المقاومة 20 أوم 2000 أوم ، 200 كيلواوم

مقادر الملف 1500 Ω وتيار اقصى تدريج 50μA

لامانع من رسم كل جهاز على انفراد وبشكل مستقل .

السؤال السابع

فولتمتير تيار متناوب تجاري نوع نصف التقويم المقاومة الداخلية للمقياس (الملف) 100 أوم ويحتاج الى 1 ملي امبير لانحراف كامل . المقاومة الامامية للثنائيات × 50 أوم والمقاومة العكسية لانهاية . مقاومة التوازي Rshعبر الملف 100 أوم .

أ) ارسم المقياس ثم اوجد مقارنة التوالي R_1 اذا كانت قراءة اقصى تدريج المطلوبة 20 فولت (rms) يمكن تسليطها عبر نهايتي الجهاز .

ب) تأشير المقياس عند تسليط موجة مثلثية اقصى قيمة لها 18 فولت يمكن تسليطها عبر نهايتي الجهاز .

جـ) ما مقدار الخطأ في القراءة بسبب شكل الموجة في (ب)

د) اوجد حساسية المقياس .

السؤال الثامن

جهاز قياس التيار المتناوب نوع التقويم الكامل يستخدم للترددات 50HZ . المقاومة الامامية للثنائيات المستخدمة في القنطرة 5 أوم والمقاومة العكسية 500 أوم . مقاومة الملف المتحرك 20 أوم اوجد تأشير المقياس اذا كان التيار المسلط على النهايات 4 ملي امبير (rms) .

ملاحظة لا تستخدم مقاومات اضافية مع الملف بسبب قلة التيار .

السؤال التاسع

اشرح مايلي

أ ـ حساسية الفولتميتر التيار المتناوب أقل من فولتميتر التيار المستمر .

ب ـ يعتمد عزم دوران الداينموميتر على مربع قيمة التيار

جـ ـ انواع الفولتميترات التي تتأثر قراءاتها بشكل الفولتية المسلطة .

د ـ طريقة تعيير مقياس الدايموميتر .

هـ ـ ربط الواطميتر في حالات يكون الحمل تياره صغير وحينما يكون تيار الحمل كبير .

و ـ يمكن استخدام فكرة الداينموميتر لقياسات مختلفة اذكر ماهي .

ز ـ محولات التيار والفولتية ليست محولات قدرة بل انما هي محولات معدات واجهزة قياس اذكر الفرق .

2 ـ هناك تحفظات في استخدام فولتميتر الازدواج الحراري

السؤال العاشر

ارسم مخطط الاجهزة الأتية

أ ـ مقياس الطاقة

ب ـ مقاييس الفولتية والتيار والقدرة ، للقدرة العالية .

٦

قياس العناصر الكهربائية

يشمل هذا الفصل الطرائق والادوات المستخدمة في ايجاد قيم العناصر الكهربائية مثل المقاومة والمتسعة والمحاثة وغيرها والتي تدخل في كثير من الدوائر الكهربائية . ويستخدم في قياس العناصر الكهربائية وقيم الفولتية والتيارات المختلفة عدد من الوسائل والطرائق نحاول ذكر قسم منها وهي الجهاد والقناطر الكهربائية أما باقي الاجهزة فقد ذكرت في فقرات سابقة من الكتاب .

6.1 الجهاد واستخداماته :

الجهاد هو جهاز لقياس فولتية (أو ق . د . ك) أو فرق الجهد وذلك بوساطة فولتية معادلة يمكن الحصول عليها من مرور تيار معلوم في الشبكة المقاومية . وعلى الرغم من استخدام الجهاد لقياس هذه الكميات الاّ أنه يعد ضمن أجهزة القياس الاعتيادية في الوقت الحاضر . الاّ في حالات خاصة وفي القياسات الدقيقة . ويمكن تلخيص فوائد الجهاد واستخداماته في الحالات الاتية :

1 . عند الحاجة الى دقة قياس عالية لا يمكن الحصول عليها من أجهزة القياس ذات المؤشر المتحرك (مثل مقاييس الفولتية أو التيار) .
2 . عندما يحدث تأثير في المصدر المطلوب قياسه نتيجة مرور التيار ولو بقيمة قليلة خلال المقياس الاعتيادي . ولذلك يمكن استخدام الجهاد في هذه الحالة اذ يكون التيار فيه صغيراً جداً أو يساوي صفراً .

يمكن قياس القوة الدافعة الكهربائية (ق . د . ك) بصورة مباشرة بوساطة الجهاد وذلك نسبة الى ق . د . ك لخلية قياسية . اما للفولتيات العالية فيمكن قياسها باضافة صندوق مقاومات .

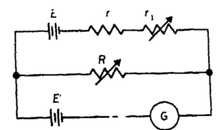
ويمكن قياس قيمة التيار المار في دائرة معينة بوساطة الجهاد وذلك باستخدام مقاومة قياسية . أما القدرة فيمكن الحصول على قيمتها من قياسات التيار والفولتية باستخدام الجهاد .

ومن ذلك يلاحظ أن الجهاد هو من الاجهزة الاساسية في القياسات الكهربائية .

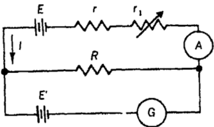
6.2 انواع الجهاد

يعتمد عمل الجهاد بصورة عامة على فكرة تعادل الفولتيات بين أجزاء الجهاد ويتم ذلك باحدى الطريقتين الاتيتين :

1 . ضبط التيار بقيمة ثابتة وتغيير المقاومة كما هو موضح في الشكل (6.1) .
2 . ضبط المقاومة بقيمة ثابتة وتغيير قيمة التيار كما هو موضح في الشكل (6.2) .



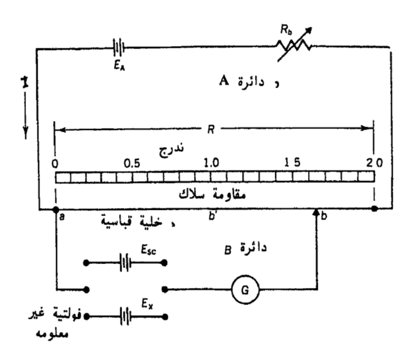
الشكل (6.1) دائرة الجهاد ذات التيار الثابت



الشكل (6.2) دائرة الجهاد ذات المقاومة الثابتة

مجهاد التيار الثابت :

يربط مصدر ق د ك التي يطلب قياسها (e) مع كلفانومتر (G) عبر جزء من المقاومة R والتي يمر فيها تيار ثابت I بتأثير البطاريه وبتم تغير الجزء ab المتصلة بـ E الى ان يشير الكلفانومتر الى قيمة الصفر أي لا يمر تيار في الدائرة B . ويلاحظ ان نقطة a ثابتة ، فعند الحصول على هذه الحالة المتوازنة تكون الفولتية $e = IR_{ab}$ وتكون المقاومة R في المجهاد البسيط هي سلك ذو مقاومة متجانسة على طوله ويربط بجانب مسطرة لمعرفة اجراء المقاومة نسبة الى طول السلك كما هو موضح في الشكل (6.3) . ومن اجل قياس فولتية معينة E_x دون



الشكل (6.3) استخدام المجهاد في قياس فولتية غير معلومة .

اللجوء الى حسابات يتم ضبط قيمة التيار المار بمقدار يمكن بوساطته أخذ القراءة بصورة مباشرة من المجهاد وذلك باتباع الخطوات الآتية والتي تدعى بالتقييس **Standerdization** .

١ . تربط فولتية قياسية معروفة E_{sc} في الدائرة B .
٢ . تحرك النقطة b الى الموضع التي تشير الى مقدار E_{sc} على السلك . (1.019 فولت مثلاً) .

٣ . تضبط النقطة a عند الموصع صفر .

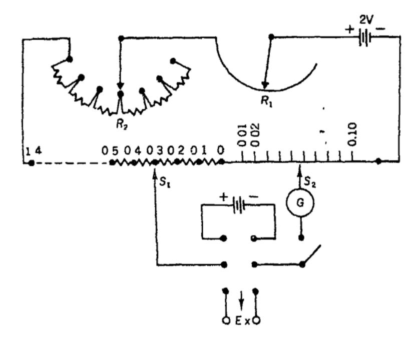
٤ . يتم تغيير التيار في الدائرة A بوساطة المقاومة المتغيرة لمتعير (R) الى القيمة التي تجعل الكلفانومتر يقرأ صفراً .

٥ . يغير المصدر E_{sc} بآخر غير معلوم E_x دون تغيير التيار I في الدائرة .

٦ . تحرك النقطة (b) الى الموضع الدي يجعل الجهاد متعادل (تأشير الكلفانومتر صفر) .

٧ . تؤخذ قراءة الجهاد على المقياس (طول السلك) .

ويلاحظ من هذا ضرورة الحفاظ على التيار I خلال القياس ولا نحتاج الى معرفة مقداره وقد تضاف بعض المقاومات الاضافية على التوالي لاختصار طول السلك المطلوب كما يلاحظ ذلك في الشكل (6.4) .



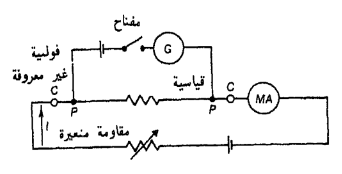
الشكل (6.4) الصيغه العمليه للمحهاد الكهربائي .

6.3 قياس المايكروفولت بالجهاد :

لقد ذكرنا في الفقرات السابقة وصف الجهاد الثابت وطريقة استخدامه . اما النوع الآخر وهو الجهاد نوع المقاومة الثابتة فهو مناسب بصورة خاصة في

قياسات الفولتية الواطئة والتي تقع في حدود بضع مايكروات من الفولت . وقد صمم هذا النوع في الاصل لقياس مقدار القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن عناصر الاقتران الحرارية وتستخدم المقاومة القياسية ذات النقاط الاربع عادة في عملية المقارنة .

يلاحظ الشكل (6.5) يولد التيار المار في المقاومة القياسية فولتية تعاكس الفولتية غير المعلومة (emf) خلال الكلفانومتر وتعطى المقاومة المتغيرة وسيلة لتغير التيار خلال المقاومة القياسية لمعادلة الدائرة طبقاً لما يشير مقياس التيار .



الشكل (6.5) قياس المايكروفولت بوساطة الجهاد .

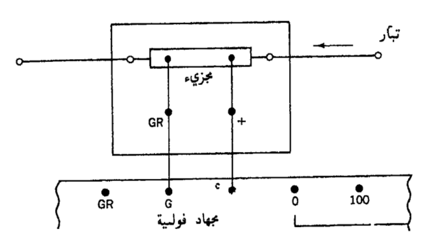
يمكن ضبط تدرج مقياس التيار وبتدرجات مختلفة 1 ، 10 ، 100 ،... وذلك اذا تم اختيار المقاومة القياسية بصورة صحيحة . وعلى الرغم من ان هذا الجهاز لا يملك دقة عالية جداً الا أنه سهل الاستخدام ولا يحتاج الاّ الى تغير المقاومات القياسية بوساطة مفاتيح عند الحاجة كما أنه يمتاز بامكانية في قياس الفولتيات القليلة .

يمكن الحفاظ على استقرارية القراءات اذا تم عزل الجهاد واجزاءه في محيط او غلاف للسيطرة على درجة الحرارة المؤثرة على عمله بصورة خاصة .

6.4 قياس التيار بوساطة الجهاد :

يمكن تحديد قيم التيار بالجهاد وذلك لقياس قيمة الفولتية عبر مقاومة قياسية كما هو واضح في الشكل (6.6) ومن الواجب ملاحظة استخدام المقاومات

القياسية والتي لها تحمل او تفنين لا يقل عن اعلى تيار بطلب قياسه . ومن الضروري تقسيم قراءات الجهاد بوساطة مقاومة المجزىء (shunt) لاجل الحصول على قراءات صحيحة للتيار .



الشكل (6.6) قياس النيار بوساطة الجهاد .

استخدام الجهاد في عملية ضبط الاجهزة :

يعد الجهاد احد الاجهزة المهمة في عملية الضبط لاجهزة القياس إذ يمكن الحصول على درجة عالية تصل الى 0.01 بالمائة في الدرج الاعتيادي (0 الى 1.6 فولت) و0.015 بالمائة في التدريج الأقل دقه من ذلك . ويعد ذلك أفضل قراءة من ناحية القيمة مقارنة مع الاجهزة القياسية ذات المؤشر المستخدمة في المختبرات والتى تصل دقتها في حدود 0.1 بالمائة من قيمة المقياس الكامل في تدرج معين .

ونحاول الآن شرح احدى الطرائق المتعددة في عملية ضبط مقياس فولتية باستخدام الجهاد وقبل ان تجرى أية عملية ضبط يجب فحص الجهاز والتأكد من سلامته وخلوه من الاخطاء الميكانيكية مثل اعوجاج في المؤشر او صعوبة الحركة الميكانيكية نتيجة تراكم الاوساخ او اعوجاج في محور الجزء المتحرك .. الى آخره ويجب وضع الجهاز بوضع افقى او عمودي حسب نوع الجهاز وضبط الصفر الميكانيكي .

وبعد ذلك تجرى عملية الضبط التياري وذلك باستخدام خلية قياسية ويتم تغيير المقاومة الى حد الحصول على قراءة الصفر في الكلفانومتر .
كما تجرى عملية ضبط الفولتيات في كل تدرج والتأكد من التدرج الخطي للمقياس ويكون الفرق بين القراءة والفولتية الحقيقية هو الخطأ الجبري (زائداً او ناقصاً) للمجهاد والذي بوضع في سجل لمقارنته مع الفحوصات السابقة واللاحقة وكذلك بدقة الجهاز المحددة من قبل الشركة . ويجب ضبط الجهاز عند تجاوزه لهذه القيم ، والاّ يعد الجهاز غير صالح للقياس .

6.5 مجهاد التيار المتناوب :

لاحظنا أن فكرة المجهاد في القياس هي عملية مقارنة بين فولتيتين بحالة dc وما دامت هذه الحالة صحيحة فيمكن استخدام هذه الفكرة لمقارنة فولتيتين بحالة ac (متناوبتين) .

وقد تم افتراح عدد من هذه الدوائر المختلفة ولكن وجد أن لكل منها حدوداً معينة فيمكن مقارنة فولتيتين (ac) بدقة عالية ولكن لعدم توفر مصدر قياس ثابت (ac) كما في حالة الخلية القياسية (dc) فلا نتوقع الحصول على دقة عالية للمقارنة دون ان تكون المقارنة مع قيمة ثابتة وقياسية .

وقد نسأل لماذا تستخدم هذه الطريقة اذن ؟ اذا كانت الدقة لا تزيد عن 0.5 الى 1 بالمائة ؟ والجواب ان فائدة هذا النوع تكمن في المقارنة بين فولتيتين .

ويمكن كذلك استخدام مجهاد الـ ac في قياس وفحص الدوائر المغناطيسية وكذلك في الحصول على قيم دقيقة للزاوية الطورية في المحولات . واضافة الى صعوبة الحصول على قيمة قياسية للفولتية (ac) فهناك بعض العوامل التي تحد من استخدام المجهاد في حالة الـ ac . ومن هذه العوامل :

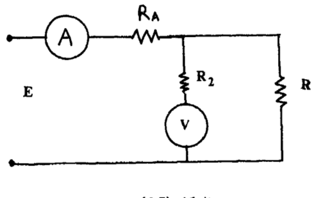
1 . يجب تزامن الفولتيات (ac) عند القياس او توازن المجهاد أي يجب ان تكون الزوايا الطورية ثابتة وذلك اتساع كل من الفولتيتين .
2 . صعوبة القياس عند وجود توافقيات في الموجات المقاسة او احداها اذ يجب ادخال هذه الموجات الى مرشحات للتخلص من توافقيات معينة قبل القياس .
3 . يجب عزل المجهاد عند الترددات العالية نسبياً لابعاد المجهاد عن المجالات المنطلقة الموجودة في الهواء او الاسلاك المجاورة .

6.6 طرق قياس المقاومة :

يتم قياس المقاومة الكهربائية بصورة عامة باستخدام القناطر الكهربائية والتي تصل دقة القياس فيها بحدود 1 الى مليون جزء ، وعلى الرغم من سهولة عملية القياس في مثل هذه القناطر الاّ أنها تحتاج الى اجهزة خاصة لذلك وخاصة حين الحاجة الى الدقة العالية .

وقد تكون الدقة العالية في مقياس المقاومة غير ضرورية دائماً ويمكن اجراء عملية القياس بوساطة المقاييس التي تستخدم المؤشر المتحرك الذي ينوفر في المختبرات الكهربائية عادة ومن الطرق الشائعة طريقة تعتمد على قراءة مقياس الفولتية وقراءة مقياس التيار وقد تصل دقة هذه الطريقة في حدود 1 الى 2 بالمائة وهي قيمة مناسبة في التطبيقات العملية الاعتيادية ويتم قراءة التيار المار في المقاومة بوساطة مقياس التيار في حين تجرى عملية قياس الفولتية عبر المقاومة نفسها ، وتكون قيمة المقاومة بعد ذلك هي النسبة بين قراءة مقياس الفولتية الى قراءة مقياس التيار حسب قانون أوم .

تعتمد دقة القياس التي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة على دقة المقباسين بصورة خاصة ومع ذلك فهناك عدد من النقاط التي يجب الانتباه اليها . فاذا لاحظنا الشكل (6،7) فاذا كان مقياس المولتية مربوطاً (كما موضح في الشكل) عبر المقاومة R فتكون قيمة التبار المقاسة بوساطة مقباس التيار A هي مجموع التيار خلال المقاومة R زائداً التيار المار في مقياس الفولتية .



الشكل (6.7)

اذا كانت مقاومة مقياس الفولتية عالية مقارنة بقيمة R . فيمكن بذلك اهمال التيار المار خلال مقياس الفولتية وحساب قيمة المقاومة R حسب قانون أوم . اما اذا كانت مقاومة مقياس الفولتية غير عالية مقارنة مع R فلا يمكن اهمال التيار المار خلال مقياس الفولتية في هذه الحالة وسيظهر تأثيرها في قيمة التيار الكلي بصورة واضحة عند ربط مقياس الفولتية عبر المقاومة . ومع ذلك نتمكن من حساب المقاومة بالطريقة الآتية :

$$R = \frac{E}{I\left(1 - \frac{E}{I R_V}\right)}$$

إذ تمثل R_V مقاومة مقياس الفولتية الداخلية . ويمثل I التيار المار خلال مقياس التيار . فاذا كانت مقاومة مقياس التيار معلومة او مهملة نسبة الى المقاومة الخارجية فيمكن ربط مقياس الفولتية عبر المقاومتين (الخارجية ومقاومة مقياس التيار) كما هو موضح في الشكل (6.8) ففي هذه الحالة تكون نسبة قراءة مقياس الفولتية الى قراءة مقياس التيار تساوي المقاومة بين النقطتين الموصلتين بمقياس الفولتية . أي تتضمن النسبة (المقاومة) مقاومة مقياس التيار الداخلية ، وتكون قيمة المقاومة الخارجية :

$$R = \frac{E}{I} - R_A$$

الشكل (6.8)

اذ تمثل R_A قيمة مقاومة مقياس التيار .

وبضبط الجهاز بصورة صحيحة يمكن استخدامه في مقياس مقاومات وبدقة تصل الى 0.2 بالمائة ومن اجل الحصول على مثل هذه الدقة يجب ادخال مقاومة اسلاك التوصيل عند عملية الضبط .

6.6.1 القياس بمقياس المقاومة :

يستخدم مقياس المقاومة للاشارة الى قيمة المقاومة التي تربط مباشرة وتظهر القراءة عادة على مقياس تدريجي خاص بالمقاومة .

وهناك عدد من انواع مقاييس المقاومة يصنف عادة حسب فكرة عمله او مصدر الطاقة التي تحرك المؤشر او نسبة الى التدرج .

اما فكرة عمل مقياس المقاومة الشائعة الاستخدام في الناحية العملية فهي فكرة مقياس المقاومة الاساسية ومقياس المقاومة المعتمد على النسبة او التي تعتمد في عملها على طريقة قنطرة وينستون .

ويكون مصدر الطاقة في مقاييس المقاومة عادة بطارية جافة توضع داخل الجهاز يربط معها مقاومة متغيرة لضبط موضع الصفر في المقياس عند تغير قيمة البطارية بسبب الاستخدام المستمر او عند تركها مدة طويلة داخل الجهاز .

وهناك انواع اخرى تأخذ القدرة او الطاقة من الدائرة التي يطلب قياس مقاومتها وتكون قيمة الطاقة قليلة جداً . والنوع الاول هو الشائع .

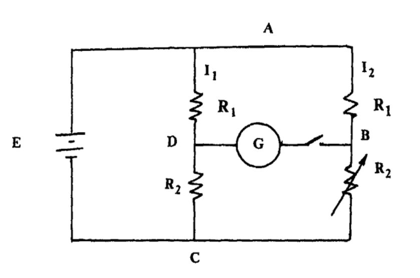
6.6.2 طريقة الجهاد :

الجهاد جهاز مناسب في قياس فرق الجهد عندما تحتاج الى تجنب سحب تيار من مصدر الفولتية . كما تكون مناسبة في القياسات الدقيقة والتي قد تصل دقتها في حدود 0.1 بالمائة والتي لا يمكن الحصول عليها الا بصعوبة في اجهزة القياس الاعتيادية الاخرى . ويمكن استخدام الجهاد في قياس المقاومة وذلك بقياس التيار المار في المقاومة المجهولة وكذلك فرق الجهد عبر المقاومة نفسها . وبعد ذلك يتم مقارنة التيار والفولتية مع القيم الناتجة في مقاومة قياسية معلومة . فاذا حاولنا تثبيت التيار في الحالتين فإن نسبة المقاومات تعتمد على نسبة الفولتيات الناتجة أي :

$$R_x = R_s \quad \frac{E_x}{E_x}$$

اذ تمثل R_x ، R_s قيم المقاومتين المجهولة والقياسية على التوالي .
وتمثل E_x و E_s قيم الفولتية عبر المقاومتين R_x و R_s على التوالي .

6.7 القناطر الكهربائية :



الشكل (6.9) قنطرة ويتستون

6.7.1 ـ قنطرة ويتستون Wheststone :

يمكن توضيح فكرة عمل هذه القنطرة بالرجوع الى الشكل (6.9) عندما يكون المفتاح المتصل بالكلفانومتر غير موصل . اذ تكون نقطة D بجهد معين بين جهدي نقطتي A و C . كما تكون نقطة B بجهد ذي قيمة تقع بين جهدى A و C ويمكن تحديد نسبة قسمة هذا الجهد اعتماداً على قيمة R_1 و R_2 بقيم تجعل الجهد في النقطة B مساوياً للجهد عند النقطة D وذلك بتغير قيمة المقاومة R_4

فاذا حصلنا على تيار قريب جداً من الصفر او مساوياً للصفر في الكلفانومتر عند توصيل المفتاح . يقال للقنطرة في هذه الحالة بانها في موضع التوازن .

ويكون التيار I_1 المار في المقاومة R_3 في حالة التوازن مساوياً للتيار المار في R_1 كما يكون التيار I_2 المار في المقاومة R_2 مساوياً للتيار المار في المقاومة R_4 . وبما ان جهد النقطتين B و D متساو . اي ان فرق الجهد A الى D يساوي فرق الجهد A الى B ويمكن كتابة ذلك بالاتي :

$$I_1 \; R_1 = I_2 \; R_L$$
$$I_1 \; R_3 = I_2 \; R_4$$

وبالقسمة

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2} \; R_4$$

اذن اذا علمنا قيم المقاومات الثلاث يمكن حساب قيمة المقاومة الرابعة . ويجب ملاحظة ان هذه العلاقة بين المقاومات صحيحة عند حالة التوازن فقط .

تدعى هذه الدائرة بقنطرة ويتستون وهي من اشهر الطرائق في قياس قيم المقاومات ذات القيم المتوسطة . وتعتمد دقة القياس الناتجة على قيم المقاومات المستخدمة وقد نحصل على 0.02 الى 0.03 بالمائة في القناطر التجارية الجيدة . ومن ميزات هذه الطريقة عدم اعتمادها على فولتية المصدر ولا تتأثر حالة التوازن وحساسية القنطرة عند التغيرات المفاجئة في قيمته .

وتتوفر قنطرة ويتستون في الناحية العملية بعدد مختلف من الهيئات الا ان فكرة عملها واحدة ، فمنها ما يستخدم للتوضيح والشرح والمكون من اسلاك ومقاومات شبيهه بالجهاد ويمكن مشاهدة حالة التوازن في طول معين من السلك عند تحريك النقطة المتحركة عليه . كما قد يتوفر نوع آخر يستخدم في المختبرات وبعض المصانع والتي تنتظم المقاومات R_1 و R_2 و R_3 في صندوق واحد ويمكن تغيير قيمتها عند الحاجة لذلك بوساطة مفاتيح دوارة ، فضلاً عن وضع نقاط توصيل خاصة لربط مصدر القدرة (البطارية) وجهاز الكلفانومتر . وتكون كلا من المقاومتين R_1 و R_4 مكونة من اربع مقاومات هي :

(10000, 1000, 100, 10) اوم كما تكون المقاومة R_4 من قرص واحد او اكثر مقسم اجزاء يمكن قراءة الاجزاء الصغيرة الموضحة عليه .

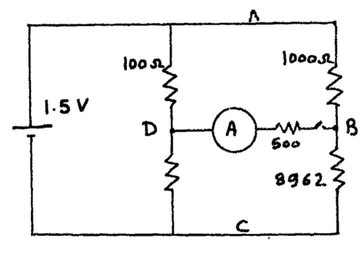
تدعى المقاومتان R_1 و R_2 بذراعي النسبة اذا تعطي $\frac{R_1}{R_2}$ النسبة التي تضرب بها المقاومة R_4 للحصول على المقاومة المجهولة لـ R_3 وتكون قيمة هذه النسبة تساوي واحد عادة وتحتاج في بعض الاحيان الى تغييرها من اجل الحصول على توازن نهائي للقنطرة .

ويجب التذكر دائماً بربط المقاومة المجزئة على التوازي مع الكلفانومتر في بداية عملية القياس اذ يتوقع ان يكون التيار فيه عالياً ثم تزال او تخفض هذه المقاومة تدريجياً .

يمكن قياس حساسية القنطرة بالتيار الخارج من التوازن (أو انحراف الكلفانومتر التابع له) والناتج من الخروج عن حالة التوازن قليلاً . ويمكن الرجوع الى بعض المصادر للحصول على طريقة معالجة حساسية القنطرة وخاصة في القياسات الدقيقة .

مثال (6.1) :

ربطت قنطرة بطريقة ويتستون كما هو موضح في الشكل (6.10) قيمة 100 = $R_4 = 8962, R_2 = 1000, R_1$ اوم . وقيمة المصدر E هي 1.5 فولت وبمقاومة داخلية تساوي صفراً كما تكون مقاومة الكلفانومتر هي 500 اوم .



الشكل (6.11) قنطرة المثال 6.1

اوجد قيمة R_3 والتيار الخارج عن التوازن اذا ازدات R_4 بمقدار 1 أوم .

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2} \quad R_4 = \frac{100}{10000} \quad 8962$$
$$= 89.6\Omega$$

وبحل الدائرة بوساطة ثيفن عند حالة الخروج عن التوازن المعطى نحصل على الفرق في الجهد وكما يلي بعد حذف G .

فرق الجهد بين A الى D = $\frac{100}{189.62} \times 1.5$ فولت

فرق الجهد بين A الى B = $\frac{10000}{189.63} \times 1.5$ فولت

فرق الجهد بين D الى B = $1.5\times \left(\frac{100}{189.63} - \frac{100}{189.62}\right)$

$= 41.8 \times 10^{-6}$ فولت

وكذلك فإن مقاومة الدائرة عند النظر اليها من النقطتين BD هي مجموعة التوازي المؤلفة من R_1 و R_3 على التوالي مع المجموعة المكونة من R_2 و R_4 اي :

$$\frac{100 \times 89.62}{189.62} + \frac{10000 \times 8963}{18963} = 47.3 + 4730$$

ومن ثم وبعد ربط G في موضعه يكون التيار خلاله هو :

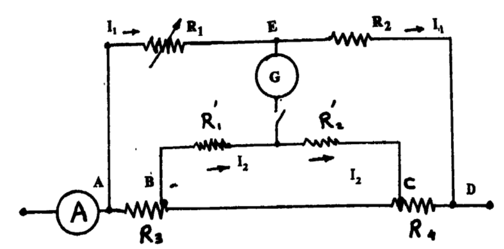
$$\frac{41.8 \times 10^{-6}}{4777 + 500} = 0.745 \times 10^{-8}$$ امبير :

6.7.2 قنطرة كلفن المزدوجة :

ان الاخطاء الناتجة من مقاومة التوصيل والتلامس ومقاومات الاسلاك وعامل الحساسية كل هذه العوامل تجعل من قنطرة ويتستون غير مناسبة في قياس المقاومات الصغيرة . يوضح الشكل (6.12) قنطرة كلفن المزدوجة حيث تمثل R_3 المقاومة المراد قياسها و R_4 هي مقاومة صغيرة قياسية .

وتمثل R_1 و R_2 صندوقان من المقاومات وكذلك تكون قيمتا R_2 و R_2 ملفات بقيم 10 او 100 او 1000 او 10000 اوم ويتم اختيارها بمفتاح اختيار خاص .

وتكون التيارات في القنطرة عند حالة التوازن كما هو موضح في الشكل (6.12) .



الشكل 6.12 طريقة قياس المقاومة الصغيرة

اذن :

فرق الجهد بين A الى E = فرق الجهد بين A و F

اي : $I_1 \ R_1 = IR_3 + I_2 \ R_1$

او : $IR = R_1 \ (I_1 - \dfrac{R_1}{R_1} \ I_2)$

وبطريقة مشابهة :

$$I_1 \ R_2 = IR_4 + I_2 \ R_2$$

$$IR_4 = R_2 \left(I_1 - \frac{R_2}{R_2} I_2 \right)$$: او

فاذا كانت قيمة $\frac{\grave{R}_2}{R_2} = \frac{R_1}{R_1}$ تكون القيم داخل الاقواس متساوية وبقسم المعادلتين نحصل على :

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

وهذه هي حالة التوازن كما ورد ذلك سابقا .

وتكون هذه القنطرة ذات ميزات جيدة اذا تم ضبط المساواة بين $\frac{\grave{R}_2}{R_2} = \frac{\grave{R}_1}{R_1}$ وفيما عد ذلك يجب ادخال التأثير الحاصل من عدم المساواة .

6.8 قياس المقاومات العالية :

نحتاج في بعض التطبيقات العملية قياس القيم العالية للمقاومات والتي تتجاوز 10^6 اوم واهم هذه الحالات هي :

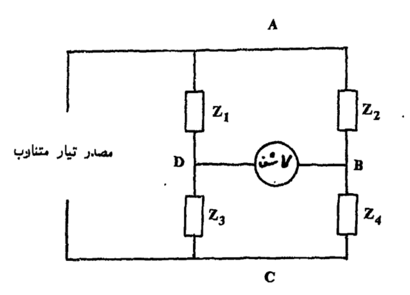
١ . قيم المقاومات العالية في عناصر الدائرة .
٢ . مقاومة العزل لبعض العناصر في الاجهزة المختلفة .
٣ . المقاومة الحجمية للمواد اي المقاومة بين سطحين وبابعاد قياسية لتحديد عزل المادة مثلاً .

وقد لا نحتاج الى الدقة العالية في مثل هذه القياسات لذلك تكون دوائر القياس سهلة مقارنة بقياس المقاومة الصغيرة . وتكون التيارات في دائرة المقاومات العالية القيمة صغيرة جداً مما ينتج عنها بعض الصعوبات واهمها :

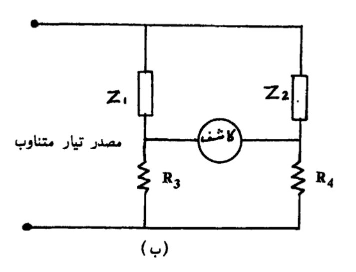
١ . تكون التيارات التسربية بقيم يمكن مقارنتها مع تيارات الدائرة نفسها .
٢ . عند قياس مقاومة العزل ، تتراكم بعض الشحنات في الدائرة مما تكون متسعة قد تؤثر على الكميات المقاسة .
٣ . نحتاج الى رفع الفولتية في بعض الاحيان من اجل الحصول على تيارات عالية نسبية ليمكن قياسها بصورة اسهل . وقد نحتاج في كل الحالات الى مقاييس تيار او كلفانومترات ذات حساسية عالية نسبياً .
ويجب اخذ الحذر في الحفاظ على هذه الاجهزة الدقيقة والغالية الثمن .

6.9 قناطر التيار المتناوب :

تعد قناطر التيار المتناوب من الطرق المهمة في القياسات الكهربائية . ويمكن اعطاء فكرة اولية عن هذه القناطر وذلك بالرجوع الى الشكل (6.13) والتي تشابه في قنطرة ويتستون المذكورة في فقرة سابقة . ويكون كل ذراع حاوياً على ممانعة بدلاً من المقاومات وكذلك يتم تغيير البطارية والكلفانومتر الخاصين بمصدر ac وكاشف detector على التوالي .



(أ)



الشكل (6.13) قنطرة ac .

ويتم معالجة فكرة هذه القنطرة بالطريقة نفسها والمستخدمة في قناطر dc .
اي :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

او

$$Z_1 \, Z_4 = Z_2 \, Z_3$$

وهناك عدد من القناطر المختلفة التي تستخدم في قياس العناصر والكميات الكهربائية مثل الحاثات والمتسعات والتردد ... وغيرها . وسنحاول ذكر قسم من هذه القناطر :

6.10 قناطر قياس الحاثة :

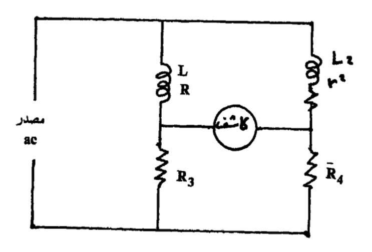
6.10.1 قنطرة ماكسويل ـ الحثية :

تستخدم هذه القنطرة عادة في مقياس الحاثة وذلك بمقارنتها بحاثة قياسية ، ويكون لها هيئة شبيهة بالهيئة الموضحة في الشكل (6.14) اذ تكون الحاثة

القياسية متغيرة وذات مقاومة معلومة r_2 ولا تتأثر بتغير الحاثة ونحصل من حالة التوازن في القنطرة على القيمتين L و R بصورة مباشرة وتكون قيمتا R_4 و R_3 مناسبتين ويمكن تغييرها مثل 10 ، 100 ، 1000 أوم اما R_2 فيفضل استخدام صندوق مقاومات متغيرة .

$$L = \frac{R_3}{R_4} L_2$$

$$R = \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_2)$$



الشكل (6.14) قنطرة ماكسويل الحثية .

6.10.2. قنطرة ماكسويل الحثة ـ السعوية :

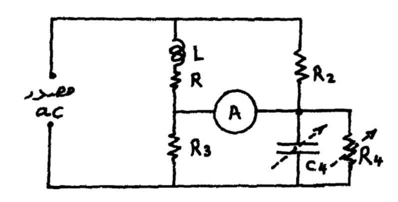
يمكن الحصول على قيمة الحاثة في هذه القنطرة بمقارنتها بمتسعة قياسية متغيرة تؤثر على الدائرة . يلاحظ الشكل (6.15) . وتكون قيمة الممانعة للمتسعة C_4 المربوطة على التوازي بـ R_4 هي $\frac{R_4}{1+j\omega C_4 R_4}$ ومن حالة التوازن نحصل على :

$$1 + j \; C_4 R_4 \qquad R_4$$

$$(R + j\omega L) \quad \frac{R_4}{1 + j\omega\, C_4 R_4}) \quad = R_2 R_3$$

او

$$(R + j\omega\, L)\, R_4 = R_2\, R_3\, (1 + j\omega\, C_4\, R_4)$$



الشكل (6.15) قنطرة ماكسويل للحثية السعوية

وبفصل القيم الحقيقية والخيالية عن بعضها نحصل على :

$$j\omega L R_4 = j\omega R_2\, R_3\, C_4\, R_4 \quad .... (1)$$

$$L = R_2 R_3\, C_4$$

$$R R_4 = R_2\, R_3$$

$$R = R_2\, R_3 \quad \frac{1}{R_4} \qquad ......(2)$$

ويجب أن تكون قيمتا R_2 و R_3 في حدود 10 الى 10000 أوم لاعطاء قيمة مناسبة لحاصل ضرب R_3R_2 والتي تظهر في كلتا العلاقتين . وتكون C_4 متسعة متغيرة في حين تكون المقاومة R_4 مقاومة متغيرة .

ويلاحظ أن القنطرة هذه تعطي أغلب الميزات الموجودة في قناطر ac اي غير معتمد على التردد ، يمكن الحصول على قيمتي L و R بعلاقات سهلة جداً ويمكن توضيح فائدة هذه القنطرة اذا فرضنا ان قيمة R_3R_2 هي 10^6 (100 = R_3وR_2 = 10000) مثلاً فعند الحصول على شرط التوازن تعطي قراءة C_4 بالمايكروفاراد قيمة L بالهنري مباشرة .

تعد دائرة هذه القنطرة من الطرق المفيدة والعملية الشائعة في قياس الحاثة ومن ميزاتها المهمة أن القنطرة تحتاج الى متسعة قياسية متغيرة وهي من العناصر المهمة وخاصة في الانواع المستخدمة في القياسات الدقيقة . وقد يكون استخدام متسعة ثابتة عند عدم توفر المتسعة المتغيرة أو للحصول الى دقة أعلى في حالة استخدام المتسعة الثابتة ويتم التغير باستخدام صندوق مقاومات متغيرة .

1 ـ يمكن الحصول على حالة التوازن بضبط R_2 و R_4 .
2 ـ يمكن وضع مقاومة اضافية على التوالي مع الملف والحصول على التوازن بضبط هذه المقاومة و R_4 .

6.10.3 قنطرة هاي Hay's Bridge :

يوضح الشكل (6.16) تطويراً لقنطرة ماكسويل الحثية ـ السعوية اذا استخدمت مجموعة المتسعة المقاومة المربوطتان على التوالي (بدلاً عن مجموعة التوازي في القنطرة الرئيسية) . يمثل الملف كما هو في الشكل من أجل معاملته على التوالي أو التوازي اذ يمكن معاملة الحاثة بأحد الشكلين عند تردد معين .
أفرض أن الربط بشكل توازي بين المقاومة R_p والحاثة ωL_p فنحصل بذلك على :

$$\frac{R_p\ j\omega L_p}{R_p + j\ L_p} \left(R_4 - \frac{j}{C_4}\right) = R_2R_3$$

أو :

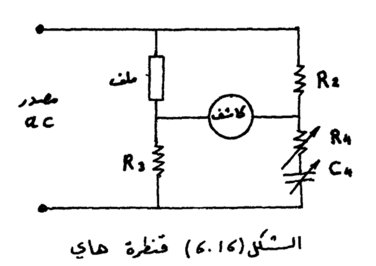
$$j\omega R_pL_p \left(R_4 - \frac{j}{\omega C_4}\right) = R_2R_3\ (R_p + j\omega L_p)$$

ونحصل من ذلك على :

$$\frac{R_pL_p}{C_4} = R_2\ R_3\ R_p \quad : \quad L_p = R_2R_3\ C_4$$

$$j\omega L_pR_4 = j\omega L_pR_2R_3$$

$$: \ R_p = R_2R_3 \frac{1}{R_4}$$



الشكل (6.16) قنطرة هاي

ونحصل من هذه المعالجة على معادلات توازن سهلة ، ولكنها اكثر ملائمة للتعبير عن ثوابت الملف في الصيغة الثانية من الربط (التوالي) وفي حالة توازن القنطرة نحصل من هذا الربط على

...(3)

$$L = \frac{L_p\ R_p^2}{R_p^2 + (\omega L_p)^2} = \frac{R_2R_3C_4}{1 + \omega^2C^2\ R_4^2}$$

$$R = \frac{R_p(\omega L_p)^2}{R_p^2 + (\omega L_p)^2} = \frac{\omega^2 R_2 R_3 R_4 C_4^2}{1 + \omega^2 C_4^2 R_4^2} \quad ...(4)$$

نلاحظ في الحالة الاولى المعادلتين 1 و 2 أن الحصول على L و R لايعتمد على التردد أما الحالة الثانية فتكون القيمتان معتمدتان على التردد ولهذا فأن اختيار طريقة الربط تعتمد على درجة ثبوت التردد .

ومن مزايا قطنرة هاي الحصول على قيمة Q (عامل الجودة) للملف بطريقة سهلة وذلك من المعادلتين 1 و 2 اذ تكون $Q = \frac{R_p}{\omega L_p}$ او من المعادلتين 3 و 4 بشكل $Q = \frac{R}{\omega L}$

$$\therefore \quad Q = \frac{1}{\omega C_4 R_4}$$

تظهر ميزة هذه القنطرة في قياس الملفات ذات عامل جودة عال . فمن المعادلة (3)

$$L = \frac{R_2 R_3 C_4}{1 + (\frac{1}{Q})^2} = R_2 R_3 C_4 \qquad Q \gg 1$$

مثال :

قنطرة هاي ربطت كما في الشكل (6.16) ، أمكن الحصول على حالة التوازن عند $R_2 = R_3 = 1000$ أوم ، $R_4 = 8120$ أوم .

$C_4 = 980$ بيكوفاراد . وكان تردد المصدر يساوي 4 كيلوهرتز .

أ ـ أحسب L و R للملف على فرض أن هاتين القيمتين مربوطتان على التوالي .

ب ـ اذا كان الخطأ في كل مقاومة في حدود ≠ 0.05% والخطأ في المتسعة هو ≠ 1 بيكوفاراد . وفي التردد 5 هرتز . أحسب حدود الدقة في تحديد قيمة L

الحـــل :

بتطبيق المعادلات المشتقة لهذه الطريقة :

$$Q = \frac{1}{\omega C_4 R_4} = \frac{10^{12}}{2\ \pi .4 \times 10^3 \times 980 * 8120} = 5$$

$$L = \frac{R_2 R_3 R_4}{1 + (\frac{1}{Q})^2} = \frac{10^3 * 10^3 * 980 \times 10^{-12}}{1 + 0.04}$$

$$= 942.3 \times 10^{-6}$$ هنري

$$R = \frac{\omega L}{Q} = \frac{2\pi \times 10^3 \times 942.3 \times 10^{-6}}{5} = 4.736.$$ أوم

يمكن حساب حدود السماح (درجة الدقة) بالآتي :

$$Q = \frac{10^{12}}{2\pi \times 1000(1 \pm \frac{5}{4000}) \times 980\ (1 \pm \frac{1}{980}) \times 8120(1 \pm 0.00005)}$$

$$= 5.00\ (1 \pm 0.00125)^{-1}\ (1 \pm 0.00102)^{-1}\ (1 \pm 0.0005)^{-1}$$
$$= 5.00\ (1 \pm 0.00277)$$

$$\therefore \frac{1}{Q^2} = \frac{1}{25\ (1 \pm 0.00277)^2} = 0.04\ (1 \pm 0.00554)$$

اي يكون الخطأ $\frac{1}{Q^2}$ هو $\pm\ 0.00022$

اذن تكون القيمة $(1 + \frac{1}{Q^2})$ $1.04\ (1 \pm 0.00022)$

ومن هذا نستنتج أن الخطأ الموجب في C_4 ينتج عنه خطأ موجب في $(1 + \frac{1}{Q^2})$

اذن اكبر قيمة للمحاثة L_{max} تكون :

$$L = \frac{10^3\ (1 + 0.0005).10^3(1+0.0005).980(1 + 0.00102)\ 10^{-12}}{1.04\ (1 + 0.00021)}$$

$$L_{max.} = 942.3 \times 10^{-6}\ (1 + 0.00181)$$ هنري

وبالطريقة نفسها نحصل على أن اصغر قيمة للمحاثة L_{min} وتكون :

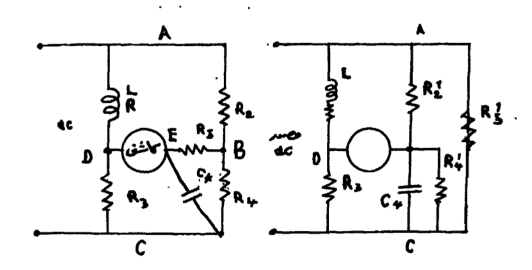
$$L_{min} = 0.942.3 \times 10^{6}\ (1 - 0.00\ 181)$$ هنري

اذن تكون حدود الدقة في قيمة L هي $\pm$ 0.18% .

6.10.4 قنطرة أندرسن :

تعد دائرة هذه القنطرة من دوائر القناطر المعقدة نسبياً . وهي مشتقة أصلاً من قنطرة ماكسويل الحثية ــ السعوية وهي تطوير اضافي لقنطرة ماكسويل حيث استبدلت المتسعة المتغيرة باخرى ثابتة . ويلاحظ من دائرة القنطرة الموضحة في الشكل (6.17) اذ تمثل R,L قيمة المحاثة المقاومة للملف المطلوب قياسه . والصيغة المميزة لهذه القنطرة هي احتوائها على ثلاث مقاومات بشكل مثلث نجم وهي R_2 و R_4 و R_5 .

وتربط هذه المقاومات بين A و C و E ويجب تحويل هذه الصيغة (نجم) الى صيغة المثلث يربط بين AوCوE وهي موضحة في الشكلR_2وR_4وR'_5 . تربط المقاومة R'_5 بصورة مباشرة عبر المصدر وهي لاتؤثر على حالة التوازن ، اما بقية القنطرة فهي تشبه قنطرة ماكسويل الحثية ــ السعوية . وتعطي حالة التوازن الآتي :



الشكل (6.17) قنطرة اندرسن

$$L = R_2 \; R_3 \; C_4 \qquad \ldots(1)$$

$$R = R_2 \; R_3 \frac{1}{R_4^1} \qquad \ldots(2)$$

وبالتعويض عن قيمة $\grave{R}_2$ و R_4 في المعادلتين 1 و 2 أي :

$$\grave{R}_2 = R_2 + R_5 + \frac{R_2 R_5}{R_4}$$

$$\grave{R}_4 = R_4 + R_5 + \frac{R_4 R_5}{R_2}$$

اذ تكون قيمة الحاثة L هي :

$$L = R_2 R_3 C_4 = R_3 C_4 [R_2 + R_5 (1 + \frac{R_2}{R_4})]$$

وقيمة R هي :

$$R = \frac{\grave{R}_2 R_3}{\grave{R}_4}$$

6.10.5 قنطرة اوين owen's Bridge:

يوضح الشكل (6.18) دائرة قنطرة وين وهي في حالة التوازن :

$$L = R_2 R_3 C_4$$

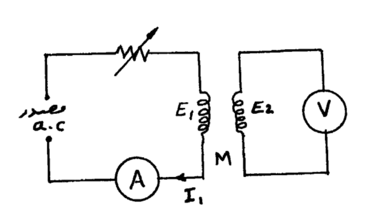
$$R = \frac{C_4}{C_2} R_3$$

فاذا تم تجهيز هذه الدائرة بمصدر ac ، يمكن الحصول على قيمتي الحاثة والمقاومة بطريقة مباشرة . ويمكن استخدام هذه القنطرة (كبقية القناطر) لقياس الفقد في القدرة الحاصلة في الملف تحت القياس . اذ يمكن قياس القدرة من I^2R اذ يمثل I في هذه الحالة قيمة التيار المار خلال الملف كما تمثل R قيمة

المقاومة التي يمكن قياسها بوساطة القنطرة . وفضلاً من هذا يمكن استخدام هذه القنطرة في تطبيقات مهمة أخرى مثل قياس الزيادة في المحاثة والفقد الناتج عن ذلك أي قيمة المحاثة والفقد في الملف عند مرور تيار متناوب فضلاً عن تيار الـ dc .

ويجب ان يزود الملف في هذه الحالة من مصدرين ac و dc وبربط التوازن .

كما هو موضح في الشكل (6.18 أ) . ويلاحظ ان C' تمنع التيار المباشر مع المرور الى مصدر الـ ac . وكذلك يستخدم الملف L' لمنع وصول التيار مصدر الـ ac الى مصدر التيار المباشر . ومن شروط التوازن في اي قنطرة عدم تأثرها عند مرور تيار في بعض أجزائها وهذا مايلاحظ في هذه القنطرة اذ تستخدم المتسعتان C_2 و C_4 لمنع مرور أي تيار في الدائرة ومن الضروري في مثل هذا الفحص أو القياس معرفة حالات التمغنط وشروطها المطلوبة . يتم قياس حالة الاستقطاب dc وذلك باستخدام مقياس تيار نوع الملف ـ المتحرك المؤشر بـ A كما هو واضح في الدائرة .



6.11 قياس المحاثة التبادلية :

1. طريقة الـ ق . د . ك الثانوية :

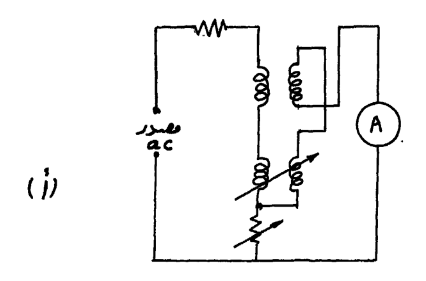
يمكن كتابة العلاقة العامه بين ق . د . ك للثانوي E_2 نسبة الى تيار الابتدائي I_1 بالمعادلة الاتية :

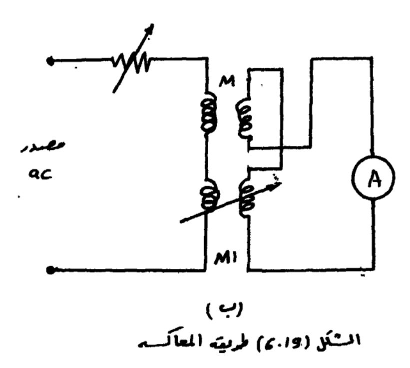
$$E_2 = \omega M I_1$$

إذ تمثل M المحاثة التبادلية (المقترنة) ، ويمكن الاستفادة من هذه المعادلة لقياس M . اذ يمكن قياس E_2 بوساطة مقياس فولتية ذي ممانعة ادخال عالية كما يمكن قياس I_1 بمقياس تيار مناسب . ويوضح الشكل(6.18) هذه الحالة . ويجب أن يكون تردد المصدر في هذا القياس معلوماً .

2 طريقة المعاكسة المباشرة :

اذا تم ربط الملفات الابتدائية لملفين بينهما تبادل حثي على التوالي وزودا من مصدر ac ، وربط الملفان الثانويان على التوالي بصيغة متعاكسة ، فسيكون التيار في دائرة الثانوي صفراً اذا كان التبادل الحثي لكلا الملفين متساوياً . وتكون هذه الطريقة سهلة ويمكن استخدامها في تحديد تساوي التبادل الحثي للملفات . ويوضح الشكل (6.19) دائرة توضيحية في كيفية الربط . وتمثل M في الشكل قيمة المحاثة المطلوب قياسها . اما M1 فتمثل محاثة تبادلية يمكن التحكم بها وتغييرها الى درجة الوصول الى حالة التوازن أي يشير المقياس الى قراءة الصفر .





(ب)

الشكل (6.19) طريقة المعاكسة

وبما أن الابتدائيان مربوطان بشكل تواز فأن التيار المار خلالهما يكون بالقيمة نفسها . وتكون قيمة ق‌دك في ملفي الثانوي متساوية في القيمة (عند أعطاء الصفر في المقياس) اذن يجب أن تكون قيمة M مساوية لـ M1. ولا يشترط معرفة قيم التيارات في الدائرة اثناء القياس .

تؤثر الترددات العالية وتأثيرات التيار ـ الدوامي على حجم التبادل بين ملفات الثانوي والابتدائي ومن المناسب في هذه الحالة فرض ق‌دك الناتجة في الثانوي مكونة من مركبتين متعامدتين هما : ωMI_1 وهي المركبة العمودية نسبة الى التيار I_1 . والمركبة الثانية هي σI_1 وهي مركبة متحدة الطور مع I_1 . وتعرّف σ بدلالة الزاوية الطورية للملف نفسه والتي تساوي $\tan^{-1}\frac{\sigma}{\omega \cdot M}$.

ومن اجل الحصول على قراءة الصفر (حالة التعادل) في المقياس فيجب تطوير دائرة الشكل (6.19 أ) الى الدائرة الموضحة في الشكل (6.19 ب) وذلك باضافة المقاومة r وهي مقاومة متغيرة ذات نقط متحركة . ويمكن الحصول على حالة التوازن عند (i) تساوي القيمتين العموديتين ωMI_1 و $\omega M1I_1$ و (ii) تساوي المجموع الجبري ق‌دك المتحدة الطور مع فرق الجهد الحاصل في r .
فمن النقطة (i) نحصل على :

$$\sigma I_1 - \sigma_1 I_1 = I_1 r$$
$$\sigma = \sigma_1 + r$$

وبذلك يمكن معرفة M من القياسات السابقة ومعرفة σ من المعادلة المذكورة توا اذا كانت قيمة σ_1. معلومة .

اما في الناحية العملية فيمكن الحصول على التوازن بتغيير M_1 و r وقد نحتاج الى تغيير اقطاب احد ملفات الثانوي (المتصلة بـ r) . ونحصل على الربط الصحيح اعتماداً على اشارة وقيمة كل من σ و σ_1 .

6.12 قياس المحاثة الذاتية :

اذا تم ربط لفيفتي ابتدائي وثانوي متصلين مغناطيسياً بصيغة التوالي بحيث يكون المجال المغناطيس الناتج في مرور التيار فيهما في اتجاه واحد ، فتكون قيمة المحاثة الكلية L^+ تساوي .

$$L+ = L_1 + L_2 + 2M$$

إذ تمثل L_1 و L_2 قيمة المحاثة ـ الذاتية لكل من اللفيفتين.
وعند عكس احدى اللفيفتين بحيث يكون المجالان المغناطيسيان متعاكسين ، تكون المحاثة الكلية $L-$ هي :

$$L- = L_1 + L_2 - 2M$$

ومن هاتين المعادلتين نحصل على :

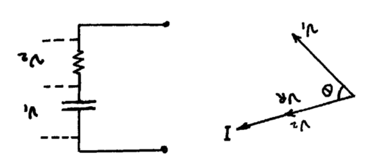
$$M = \frac{L+ - L-}{4}$$

ومن هذا نلاحظ أن الحصول على قيم دقيقة لـ $L+$ و $L-$ تعطي قيمة دقيقة لـ M وقد لاتكون عملية الحصول على الدقة العالية في قياس $L+$ و $L-$ سهلة وخاصة في الملفات ذات التبادل المغناطيسي الضعيف . اذ يكون الفرق بين $L+$ و $L-$ صغيرة جداً ، وبذلك لا يمكن الحصول على الدقة العالية المطلوبة .

6.13 قياس المتسعة :

6.13.1 طريقة مجهاد التيار المتناوب :

هذه الطريقة تشبه طريقة استخدام الجهاد ac في قياس الحاثة الموضحة في الشكل (6.20) الدائرة الكهربائية والمخطط الاتجاهي ، ويكون الفرق بين هذه الدائرة عن قياس الحاثة هو وضع المتسعة المطلوب معرفة قيمتها محل الحاثة . وتصبح الزاوية الطورية متأخرة بدلاً من كونها سابقة . (نسبة لمتجه التيار) .



6.13.2 قنطرة دي ساتوى :

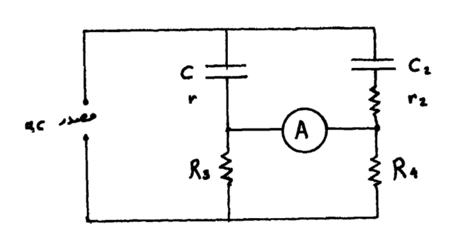
تكون هذه القنطرة لقياس المتسعة مناظرة لقنطرة ماكسويل في قياس الحاثة . ويمكن الحصول على معادلتين منفصلتين في حالة التوازن اذا استخدمت متسعة قياسية متغيرة مربوطة على التوالي مع مقاومة قياسية متغيرة أيضاً في الحصول على حالة التوازن . أما في الناحية العملية فيفضل استخدام متسعة ثابتة ويتم تغيير مقاومتين في تلك الحالة .

يوضح الشكل (6.21) قنطرة دي ساتوى اذ تمثل C و r قيمة المتسعة وتأثير الفقد للمتسعة المراد قياسه . كما تمثل C_2 و r_2 قيمة المتسعة مع تأثير الفقد لمتسعة قياسية .

وباستخدام الطريقة العامة في تحليل القناطر نحصل على :

$$c = \frac{R_4}{R_3} C_2$$

$$r = \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_1)$$



الشكل (6.21) قنطرة دي ساتوي لقياس المتسعة .

ويكون الافضل دائماً تمثيل تأثير الفقد r بدلالة زوايا الفقد δ و 2 للمتسعتين المجهولة والقياسية . اذن :

$$\tan \delta = \omega Cr = \omega \frac{R_4}{R_3} C_2 \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_2)$$

$$= \omega C_2 R_2 + \omega C_2 r_2$$
$$= \omega C_2 R_2 + \tan \delta_2$$

أي :

$$\tan \delta - \tan \delta_2 = \omega C_2 R_2$$

وتكون قياسات زاوية الفقد بطريقة دي ساندي صعبة اذا كانت قيمة δ صغيرة جداً . أما اذا كانت $\delta_2 < \delta$ فيمكن الحصول على قياسات مناسبة ولكن تكون قيمة R_2 صغيرة لاتتجاوز الاوم الواحد . وفي مثل هذه الحالات يتم ربط مقاومة اضافية R على التوالي مع المتسعة المجهولة :

$$r = \frac{R_3}{R_4}(R_2 + r_2) - R$$

$$\tan\delta = \omega Cr = \omega \frac{R_4}{R_3} C_2 \frac{R_4}{R_3}(R_2 + r_2) - \omega CR$$

$$\tan\delta - \tan\delta_2 = \omega C_2 (R_2 - \frac{R_4}{R_3} R)$$

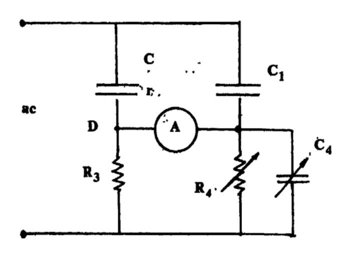
6.13.3 قنطرة شيرنج :

بدلا من استخدام مقاومة متغيرة تربط على التوالي بالمتسعة القياسية كما في قنطرة دي ساتوي ، يمكن استخدام متسعة متغيرة على التوازي مع R_4 وذلك للحصول على التنظيم الطوري للقنطرة . وتسمى هذه القنطرة وبهذه المواصفات بقنطرة شيرنج . وهي موضحة في الشكل (6.22) وقد عدت المتسعة القياسية فيها خالية من الفقد (Loss-free) أما في الناحية العملية فتستخدم المتسعات الهوائية او الغازية لقلة فقدها . ومع هذا فيتم عادة تصحيح القراءات عند وجود الفقد في المتسعة القياسية نحصل من معادلة التوازن على :

$$C = \frac{R_4}{R_3} C_2$$

$$r = \frac{C_4}{C_2} R_3$$

وبذلك يمكن الحصول على معادلات التوازن المنفصلة باستخدام R_4 و C_4 بشكل قيم متغيرة .



الشكل (6.22) قنطرة شيرنج

$$\tan \delta = \omega C r$$

$$= \omega \frac{R_4}{R_3} C_2 \frac{C_4}{C_2} R_3$$

$$= \omega C_4 R_4$$

كما يمكن الحصول كذلك على قيمتي C و tan من قيم عناصر القنطرة الاخرى في حالة التوازن .

اسئلة الفصل السادس
القناطر

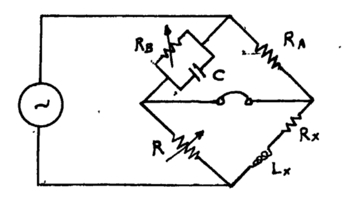
١ ـ يطلب قياس مقاومة بواسطة طريقة وينستون . عند التوازي كانت المقاومة $AB = 100\,\Omega$ و $BC = 10\,\Omega$ و $AD = 85\,\Omega$. ربط مقاوم مجهول عبر CD وسلط فرق جهد مقداره 1.5 فولت عبر AC وربط الكلفانوميتر عبر 1.BD سم مخطط الدائرة ثم احسب :

أ ـ قيمة المقاوم المجهول

ب ـ فرق الجهد عبر AB وعبر AD.

٢ ـ لقنطرة ماكسويل المبينة في الشكل اثبت ان

$$L_x = C_B R R_A \; , \; R_x = R \frac{R_A}{R_B}$$

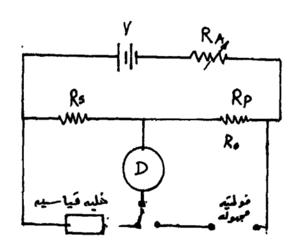


٣ ـ للقنطرة السابقة اذا كانت $R_A = 1000\,\Omega$, $C_B = 0.025$ Mf في حالة توازي عند 1000 هيرتز فان $R = 240\,\Omega$ ، $R_B = 1500$ أجد L_x ، R_x .

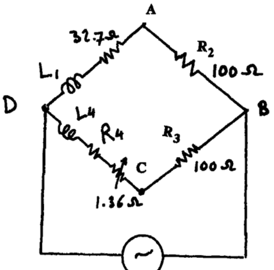
٤ ـ اذا كانت الخلية القياسية في قنطرة الجهاد $V_s = 1.020$ v R_s.2040

(أ) لقياس جهد حوالي 10v اوجد R_p ، R_A ، V

(ب) القيمة $R_o = 1520$ اوجد الفولتية المجهولة



٥ ـ قنطرة ماكسويل فيها الاذرع AB ، BC مقاومات نقية 100 اوم ، ربط في الذراع DA محاثة قياسية L_1 تحوي مقاومة 32.7 اوم وربط في الذراع CD مقاومة متغيرة قياسية R على التوالي مع ملف مجهول المقاومة والمحاثة . ومن ثم توازنت القنطرة عندما كانت $L_1 = 47.8mH$ ، $R = 1.36$. اوجد قيمة مقاومة ومحاثة الملف المجهول .



٦ ـ لقنطرة اندرسن للتيار المتناوب ربطت ممانعة ذات قيم محاثة L ومقاومة R بين A ، B وحصل التوازي عندما كانت الاذرع AD ، CD مقاومات نقية قيمتها 1000 اوم والذراع BC مقاومة مقدارها 500 أوم . والذراع DE مقاومة نقية 200 اوم 2Nf غير الذراع 2Mf ، المصدر تيار متناوب 10V بتردد 100 هرتن مربوط بين A ، C اوجد L ، R

٧ ـ قنطرة تيار متناوب في حالة متوازنة فيها AB ، BC مقاومات غير حثية قيمها 100 اوم والاذرع BE ، CD مقاومات متغيرة غير حثية والذراع EC متسعة قيمتها Mf او الذراع DA مقاومة حثية .

ربط المصدر المتناوب بين A ، C وجهاز السماعة بين E و D . وحصل التوازي عندما كانت قيمة المقاومات للاذرع CD ، BD هي 50 اوم و 2500 اوم على التعاقب .

احسب مقاومة ومحاثة الذراع DA .



مرسمة الترددات

مقدمـــة :

تعد مرسمة الترددات أو مرسمة أشعة المهبط **Cathod-Ray Oscilloscope** من الاجهزة الشائعة والمستخدمة في القياسات للفحص وايجاد الاعطال في كثير من التصليحات وورش الصيانة . حيث تنتج المرسمة اشكالاً مرئية على شاشة صغيرة للاشارات الكهربائية المختلفة وكما يمكن مشاهدة ودراسة بعض الظواهر الفيزياوية التي يمكن تحويلها الى اشارات كهربائية مهما كانت صغيرة . وأساس عمل هذا الجهاز الكتروني الحيوي وجود حزمة الكترونية تتكون من سيل من الالكترونات السريعة المنبعثة من المهبط داخل انبوبة زجاجية مفرغة من الهواء . تعمل هذه الحزمة الدقيقة المقطع بمثابة مؤشر يرسم التغيرات التي ترافق الاشارة الكهربائية الداخلة الى الجهاز بصورة آنية وبعرضها على شاشة مبطنة من الداخل بمادة فلورية تصطدم بها الكترونات الحزمة فتتحول الى بريق مرئي من الخارج .

تعزى سرعة ودقة هذا الجهاز في عرض المعلومات الى السرعة الفائقة لحركة الالكترونات وصغر قصورها الذاتي ، مما يجعلها تستجيب آنيا للتغير الذي يطلب معرفته ويكون عادة بشكل فولتية تدخل الجهاز عن طريق النهايات المخصصة لذلك . فهذا الجهاز يعرض كل الاشكال الموجية مهما كان شكلها ويكشف عن أي تشويه فيها وبذلك يعد ذو أهمية كبيرة في عمليات الفحص للاجهزة الكهربائية والالكترونية .

تعد المرسمة ذات أهمية خاصة في مختلف القياسات والتطبيقات العملية في شتى المجالات الكهربائية والالكترونية فبوساطة هذا الجهاز يمكن قياس التردد والمدة الزمنية للاشارة وكما يمكن قياس الفولتية المستمرة والمتناوبة وزاوية الطور. كما يستعمل لمقارنة الاشكال الموجية وفحص التشوهات في الموجات والحالة العابرة في الموجة فضلاً عن ذلك فان لهذا الجهاز استخدامات عملية هامة كما هو الحال في قياس الكميات الفيزياوية باستخدام مغيرات الاشارة الذي يحول الضغط والشد والحرارة الى فولتيات يمكن رؤيتها على الشاشة.

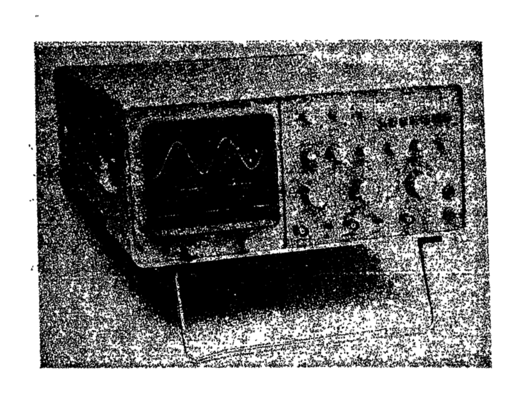
هناك انواع متعددة من مرسمة الترددات منها البسيط والذي يحوي قناة واحدة ومنها المعقد في عمله جداً ومتطور اذ يمكنه خزن أو اعادة عرض الاشكال أو تصويرها وهناك مراسم مخصصة لاغراض خاصة تعمل بحاسبة الكترونية وسنتناول في شرحنا النوع البسيط ذي الاستخدامات المختبرية العامة والشائعة.

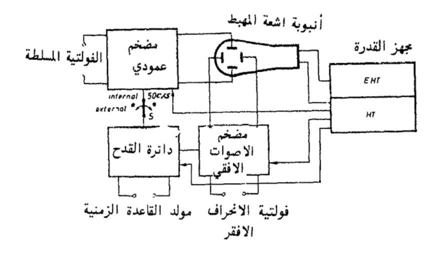
7-1 تركيب المرسمة[*] :

إن المكونات الرئيسة لمرسمة الترددات مبينة في الشكل 7.1 وتعد انبوبة اشعة المهبط أو Cathod-Ray Tube (CRT) قلب المرسمة واما بقية الاجزاء فهي دوائر خدمية لتشغيل الانبوبة.

يوضح الشكل (7.1ب) المخطط الكتلي الأساسي لجهاز المرسمة والاجزاء المكونة له

أ) أنبوبة أشعة المهبط أو	**Cathod-ray tube (CRT)**
ب) مضخمة الانحراف العمودي	**Vertical Amplifier**
جـ) خط التعويق	**Delay line**
د) مولد القاعدة الزمنية	**Time base generator**
هـ) مضخمة الانحراف الافقي	**Horizontal Amplifier**
و) دائرة القدح	**Trigger Circuit.**
ز) مجهزة القدرة	**Power Supply.**

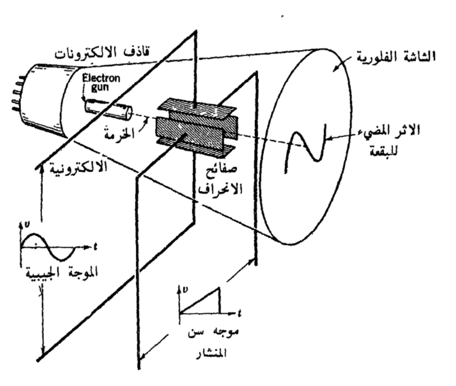




الشكل 7.1 (أ) المظهر الخارجي للمرسمة (ب) المخطط الكتلي لجهاز المرسمة

7-2 رسم الاشارة على الشاشة :

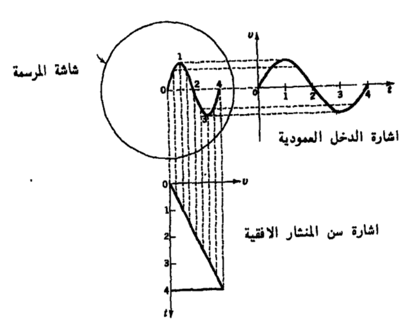
ان مولد القاعدة الزمنية (Time base generator) الاكتساحي (sweep generator) يولد موجة بشكل سن المنشار وتستخدم كفولتية انحراف افقية للـ CRT . وان الجزء الموجب لهذا الموجة خطي وينظم معدل الصعود فيها بالمنظم المثار Time / Div . وتغذى فولتية سن المنشار المضخم الافقي . ويحوى المضخم محول الطور phase inverter ويكون موجتين خارجيتين آنيتين هما موجة سن المنشار الموجبة (للتصعيد) وموجة سن المنشار السالبة (للتنزيل) فالموجة الاولى تسلط الى صفيحة الانحراف اليمنى للـ CRT والاخرى الى صفيحة الانحراف اليسرى . وهذه الفولتيات تسبب قيام الحزمة الالكترونية بالكسح (sweep) عبر الشاشة من اليسار الى اليمين بوحدات الزمن التي يتم السيطرة عليها بالمنظم Time / Div كما هو موضح في الشكل (7.2).



الشكل 7.2 تخطيط مكونات انبوبة اشعة المهبط الداخلية

ان تسليط فولتيتي الانحراف بوقت واحد الى كل من مجموعتي الصفائح يسبب حركة بقعة انبوبة اشعة المهبط لترسم شكل الموجة على الشاشة . وهذا

موضح في الشكل (7.3) حيث تسلط الفولتية بشكل سن المنشار sawtooth أو فولتية الاكتساح على الصفائح الأفقية والموجة الجيبية مسلطة على الصفائح العمودية . وبما ان فولتية الاكتساح تزداد خطياً مع الزمن فان البقعة المتوهجة تتحرك عبر الشاشة بسرعة ثابتة من اليسار الى اليمين وفي نهاية المسح عندما تهبط الفولتية التي بشكل سن المنشار الى الصفر من قيمتها العظمى فأن البقعة المضيئة تعود بسرعة الى موقع بدايتها في الجهة اليسرى من الشاشة وتبقى هناك الى ان تبدأ موجة سن المنشار من جديد . وحينما تسلط الفولتية دخل على الصفائح العمودية وفولتية كسح افقية في آن واحد فأن حزمة الالكترونات ستكون تحت تأثير قوتين : احداهما على المستوى الافقي محركة البقعة المضيئة عبر الشاشة بمعدل خطي والاخرى على المستوى العمودي محركة البقعة المضيئة الى الاعلى والاسفل حسب قيمة قطبية اشارة الدخل وان محصلة الحركة لحزمة الالكترونات تظهر صورة اشارة الدخل بالنسبة للزمن على انبوبة اشعة المهبط . واذا كانت اشارة الدخل ذات طبيعة التكرار فلغرض تحقيق ذلك فان النموذج من شكل الموجة تغذى دائرة القدح التي تنتج نبضة القدح عند مستوى معين من فولتية الدخل . وتستعمل نبضة القدح لبدء اشتغال مولد القاعدة الزمنية والتي بدورها تبدى الكسح الافقي لبقعة الانبوبة المضيئة من جهة اليسار للشاشة .



الشكل 7.3 تخطيط يوضح الحصول على شكل الموجة الجيبية نتيجة تسليط موجة الدخل الجيبية على الصفائح العمودية وموجة سن المنشار على الصفائح الافقية

تستعمل نقطة بداية موجة الدخل في الحالة الاعتيادية لتشغيل مولد القدح والتي تولد القدح وتبدي الكسح . وتستغرق هذه العملية مدة زمنية معينة (0.15μs مايكروثانية) اذ لا يبدأ الكسح الا بعد تسليط الاشارة الذخل . وهدا يمنع ظهور نقطة البداية لشكل الموجة ، ولذلك نحتاج الى تأخير او تعويق موجة الدخل الى الصفائح العمودية الى حين بدء دوائر القدح والقاعدة الزمنية بالاشتغال لكسح الحزمة . ويزود خط التعويق تأخيراً مقداره (0.25 μs مايكروثانية تقريباً) في قناة الانحراف العمودية بحيث تسمح لظهور نقطة بداية موجة الدخل على الرغم من استعمالها لقدح دوائر الاكتساح .

إن جهز القدرة يتكون من قسم الفولتية العالية لتشغيل الانبوبة وقسم الفولتية الواطئة لتجهيز الدوائر الالكترونية للمرسمة وإن تصميم جهز القدرة هو من النوع الاعتيادي ولا يحتاج الى توضيح .

7.3 انبوبة اشعة المهبط (CRT) Cathode ray tube

مكونات انبوبة اشعة المهبط : ـ

إن التركيب الداخلي لانبوب اشعة المهبط مبينة في المنظر التوضيحي في الشكل 7.2 . اما الاجزاء الرئيسية لهذه الانبوبة المتعددة الانحراف فهي : ـ

(أ) مجموعة مطلق الالكترونات .
(ب) مجموعة صفائح الانحراف .
(جـ) الشاشة الفلورية .
(د) غلاف زجاجي وقاعدة الانبوبة .

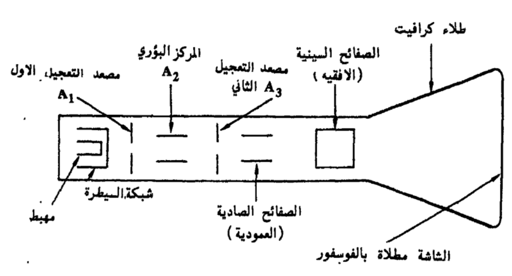
تنتج مجموعة مطلق الالكترونات حزمة بؤرية صغيرة وحادة على الشاشة الفلورية . وعند اصطدامها بالشاشة فإن الطاقة الحركية للالكترونات ذات السرعة العالية تتحول الى اشعاع مضيء وأن الحزمة تولد بقعة صغيرة منيرة على شاشة الـ CRT وخلال مرور الحزمة الالكترونية من زوجين من صفائح الانحراف الكهروستاتيكية المبينة في الشكل 7.2 وهي مجموعة صفائح الانحراف فاذا كانت الفولتيات مسلطة على هذه الصفائح فإن حزمة الالكترونات يمكن أن تنحرف بالاتجاهين العمودي والافقي بحيث تترك البقعة مضيئة أثراً على الشاشة يبين هيئة هذه الفولتيات الداخلة ..

ويوضح الشكل مطلق الالكترونات التقليدي المستخدم في انبوبة المرسمة ذات الاستعمالات العامة وإن الاسم المطلق للالكترونات (electron gun) مشتق من التناظر بين حركة الالكترون المنبعث من تركيب مطلق الالكترونات في الانبوبة ومسار حركة الاطلاقة المنبعثة من البندقية او المسدس . وفي الحقيقة فان دراسة حركة الجسيات المشحونة (الالكترون) في مجال مغناطيسي يدعى عادة قذف الالكترون .

7.3.1 عمل المرسمة

لمعرفة عمل المرسمة نلاحظ مخطط انبوبة اشعة المهبط المبين في الشكل (7.4). إذ يتم تسليط الاشارة المراد رؤيتها على الشاشة بين صفائح الانحراف الصادية (والتي تسمى في بعض الاحيان الصفائح العمودية) اذ تنحرف حركة الالكترونات نحو الفولتية الاعلى بين الصفائح .

يتم تكوين حزمة الالكترونات في الانبوبة نتيجة تسخين المهبط المطلي باوكسيد مناسب فتقذف الالكترونات من المهبط المسخن بشكل مباشر في النهاية اليسرى الموضحة في الشكل (7.4) للانبوبة الزجاجية المفرغة من الهواء . ويحاط المهبط بشبكة معدنية للسيطرة control grid تتكون من اسطوانة نيكلية مع فتحة مركزية صغيرة يتطابق مركزها مع مركز محور الانبوبة .



شكل 7.4 تركيب انبوبة اشعة المهبط .

وتكون مجموعة الالكترونات التي تخرج من خلال الفتحة في المشبك تيار حزمة beam current ويمكن تنظيم .قيمة تيار الحزمة من الواجهة الأمامية للجهاز ومن المنظم المؤشر عليه الشدة Intensity والذي يغير الفولتية السالبة (الانحياز bias) لشبكة السيطرة نسبة الى المهبط . فزيادة انحياز شبكة السيطرة تقلل تيار الحزمة وبالنتيجة تقل شدة سطوع الشكل على الشاشة ، في حين يزداد تيار الحزمة عند خفض فولتية الشبكة . وهذا مشابه لعمل شبكة السيطرة في الصمامات او الانابيب المفرغة الثلاثية .

تتعجل الالكترونات المنبعثة من المهبط والمارة خلال الفتحة الصغيرة في مقدمة شبكة السيطرة بفولتية عالية تسلط على مصعدين (A_3 ، A_1) (accelerating anodes) وبين هذين المعجلين يوجد مصعد التركيز البؤري A_2 (Focusing anode) الذي يجعل حزمة الالكترونات ضيقة ومركزة وذات حافات حادة .

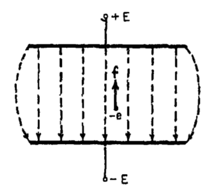
يكون شكل المصعدين المعجلين ومصعد التركيز البؤري اسطوانياً مع فراغ صغير في وسط كل اسطوانة متطابقة مع محور انبوبة المرسم اذ تسمح الفتحات في هذه المصعدات لحزمة الالكترونات المعجلة والمركزة بالمرور بين صفائح الانحراف العمودية والافقية وصولاً الى الشاشة الفلورية . وظهور بقعة مضيئة على الشاشة نتيجة اصطدامها بالكترونات الحزمة .

7.3.2 التركيب البؤري الكهروستاتيكي :

يستخدم التركيز البؤري الكهروستاتيكي في أنواع المرسمات ومن أجل أن نفهم فكرة التركيز البؤري الكهروستاتيكي ينبغي فهم كيفية تصرف الجسيمات المنفردة في المجال الكهربائي فالشكل 7.5 فرض فيه الكترون في حالة استقرار داخل مجال كهربائي منتظم .

إن تعريف شدة المجال الكهربائي تنص على أن القوة على وحدة الشحنات الموجبة في أي نقطة في مجال كهربائي في تلك النقطة . وبالتعريف يكون لدينا .

$$\epsilon = \frac{f}{q} \quad V/m \qquad (7.1)$$



شكل 7.5 القوة f على الكترون في مجال كهربائي منتظم .

حيث

E = شدة المجال الكهربائي ووحدتها V/m

f = القوة على الشحنة ووحدتها نيوتن N

q = الشحنة بالكولوم C

والالكترون جسيم شحنته سالبة وتساوي

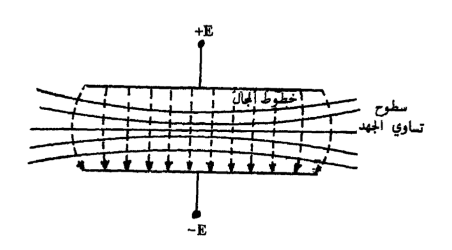
$$e = 1.602 \times 10^{-19} \ C \qquad (7.2)$$

وإن القوة على الجسيم المشحون بشحنة سالبة في مجال كهربائي يكون بعد الرجوع الى المعادلة (7.1)

$$f_e = - e E \ N \qquad (7.3)$$

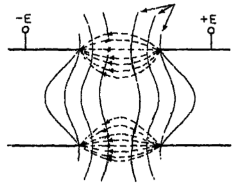
حيث أن الاشارة السالبة تعني بأن القوة تعمل باتجاه معاكس نسبة الى اتجاه المجال الكهربائي ويكون هذا صحيحاً فقط عندما يكون المجال الكهربائي الذي تقع فيه الشحنة منتظم . وهي حالة يصعب الحصول عليها . يوضح الشكل 7.6 صفيحتان كل منهما ذات ابعاد محدودة ويظهر في الشكل كذلك المجال الكهربائي من الصفيحتين المتوازيتين . يكون اتجاه شدة المجال من الصفيحة الموجبة الى السالبة . وإن خاصية التهدب تجعل المجال الكهربائي ينتظم بخطوط منحنية في النهايات الجانبية . وإن كثافة خطوط المجال تكون اقل في نهاية الصفائح مما هو عليه الحال في المنطقة الوسطية بين الصفيحتين . وعندما توصل جميع النقاط ذات الجهد المتساوي لكل خط من خطوط المجال نحصل على السطوح المتساوية

الجهد equipotential surfaces . والمبينة بخطوط مستمرة (غير مقطعة) في الشكل (7.6) وبما أن القوة المسلطة على الالكترون تعمل باتجاه معاكس الى اتجاه المجال فإننا نستنتج أيضاً ان اتجاه القوة على الالكترون عمودي على السطوح المتساوية الجهد .



شكل 7-6 المجال الكهربائي وسطوح تساوي الجهد لصفيحتين متوازيتين .

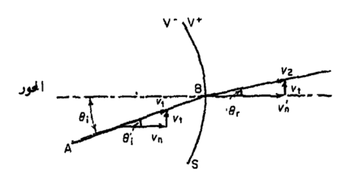
وعند وضع اسطوانتين بحيث تكون النهايات متجاورة كما في الشكل 7.7 فإن المجال الكهربائي الناتج بينهما لايكون منتظماً من حيث الكثافة وإن تنافر النهايات يجعل انتشار الخطوط كما في الشكل 7.7 وان السطوح المتساوية الجهد المبينة بخطوط غير مستمرة واختلاف كثافة المجال الكهربائي في المنطقة بين الاسطوانتين يجعل السطوح المتساوية الجهد منحنية .



شكل 7.7 سطوح تساوي الجهد لاسطوانتين متجاورتي النهايات .

ولأجل فهم تصور الالكترونات عبر سطوح تساوي الجهد نتصور الكتروناً منطلقاً من يسار سطح تساوي الجهد S الى اليمين بزاوية معينة كما موضح في الشكل 7.8 فإن الجهد على يسار السطح S هو V^- والى يمين السطح S هو V^+ والالكترون الذي يتحرك باتجاه AB وبزاوية غير عمودية (θ_i) على سطح يساوي الجهد S بسرعة V_1 وتؤثر عليه قوة تعمل باتجاه عمودي على سطح متساوي الجهد . وبسبب هذه القوة ترتفع سرعة الالكترون الى القيمة الجديدة V_2 بعد أن تعبر من السطح S . وتبقى مركبة السرعة باتجاه مماس سطوح تساوي الجهد V_t على كل من جهتي S ثابتة وتزداد المركبة العمودية فقط V_n لتصبح V_n^- ويلاحظ الشكل 7.8 كذلك أن :

$$V_t = V_1 \sin \theta_i = V_2 \sin \theta_r \tag{7.4}$$



شكل 7.8 انكسار مسار اشعة الالكترون في سطح متساوي الجهد .

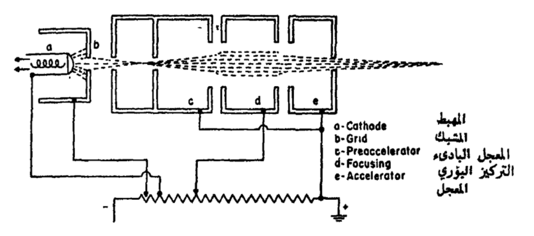
حيث θ_i هي زاوية السقوط و θ_r هي زاوية الانكسار لاشعة الالكترون . واعادة تنظيم المعادلة (7.4) نحصل على

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{V_2}{V_1} \tag{7.5}$$

نلاحظ أن المعادلة (7.5) مشابهة للتعبير الذي يطبق على انكسار الضوء في العدسات البصرية فالانكسار او الانحناء لاشعة الالكترون في سطح تساوي الجهد يتبع القوانين نفسها في انحناء اشعة الضوء لسطح الانكسار كما في العدسات .

ولهذا السبب تدعى منظومة التركيز البؤري الكهروستاتيكي في الانبوبة بالعدسات الالكترونية .

يوضح الشكل (7.9) عناصر المنظومة الثلاثة لمنظومة التركيز البؤري الكهروستاتيكي وقد وضعت بشكل مخطط مفصل .



الشكل (7.9) مسار حزمة الالكترون خلال خطوط المجال في الانبوبة .

إن القطب الاول لهذه العدسة الالكترونية هو مصعد التعجيل المتقدم اذ يتكون من اسطوانة معدنية مع عدد من الزوائد لتجميع اشعة الالكترون التي تدخل خلال الفتحة الصغيرة على الجهة اليسرى والقطب الثاني هو مصعد التركيز الالكتروني والقطب الثالث هو مصعد التعجيل الثاني (المتأخر) .

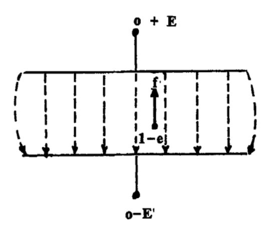
إن مصعد التعجيل المتقدم ومصعد التعجيل مربوطان مع بعضها بجهد عال (حوالي 500/ فولت) يُجهز بمصدر قدرة للفولتية العالية . وإن مصعد التركيز البؤري الواقع بين المصعدين المعجلين مربوط الى جهد موجب أقل من ذلك (500 فولت تقريباً) . يكون فرق الجهد بين مصعد التركيز البؤري ومصعدي التعجيل مجالاً كهربائياً بين عناصر الاسطوانات . وبما أن مسافات خطوط المجال غير منتظمة كما مبين في الشكل 7.7 فإن سطوح تساوي الجهد تكون منحنية لتشكل منظومة عدسة محدبة الطرفين وهذا مبين في الشكل (7.9) بخطوط المجال للمنطقة بين الاقطاب .

تنبعث الالكترونات بوساطة المهبط وتكون بشكل اشعة مبعثرة نسبياً ، ولكن تنحرف الالكترونات التي تدخل المجال الكهربائي بين مصعد التعجيل المتقدم ومصعد التركيز البؤري بزاوية غير عمودية على سطح تساوي الجهد ، وبذلك تكون اشعة الالكترون موازية الى محور الانبوبة ، كما هو واضح في الشكل . وإن الاشعة الموازية تقريباً لمحور الانبوبة تدخل العدسة المحدبة الثانية وتنكسر مرة اخرى لتصبح متقاربة قليلاً ويكون التركيز البؤري على الشاشة وسط محور الانبوبة .

يمكن زيادة طول البؤرة للعدسة المحدبة من الطرفين او خفضها بتغيير الفولتية على مصعد التركيز البؤري بحيث تتحرك نقطة بؤرة الاشعة على طول محور الانبوبة بالمقاومة المتغيرة (الجهاد) الذي يقوم بعملية التنظيم لهذه الفولتية على مصعد التركيز البؤري الموجودة على واجهة المرسمة المكتوب عليها **focus** أي تركيز بؤري .

7.3.3 الانحراف الكهروستاتيكي : ـ

لغرض شرح فكرة الانحراف الكهروستاتيكية لحزمة الالكترونات في المرسمة نعود الى كمية القوة المسلطة على الالكترون داخل مجال كهربائي منتظم ، ولأجل ذلك تكرر رسم الشكل **7.6** كما في **7.10** لتوضيح الحالة .



الشكل (7.10) القوة f على الالكترون في مجال كهربائي منتظم .

من تعريف المجال الكهربائي فإن القوة على الالكترون تصبح $f_e = -e\in$ نيوتن وإن فعل القوة على الالكترون يعمل باتجاه القطب الموجب على طول الخطوط لفيض المجال وإن قانون نيوتن الثاني للحركة يسمح لنا حساب هذا التعجيل أي :

$$f = ma \quad (7.6)$$

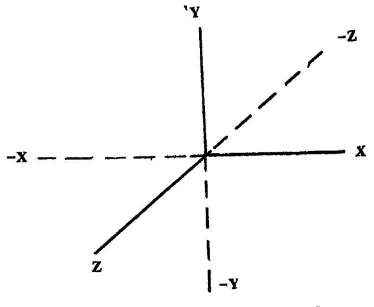
ونحصل من تعويض المعادلة (7.3) في المعادلة (7.6) على

$$a = \frac{f}{m} = \frac{-e\in}{m} \quad m \quad sec^2 \quad (7.7)$$

إذ ان

a = تعجيل الالكترون وحدتها m/sec^2
f = القوة على الالكترون بالنيوتن N
m = كتلة الالكترون بالكيلوغرام kg

عند دراسة حركة الالكترون في مجال كهربائي ، إن هذه الحركة تحدد عادة بالنسبة في المحاور الثلاثة المتعامدة x ، y ، z كما مبين في الشكل 7.11 ولدراسة هذه الخاصية سوف نستعمل رموز السرعة وشدة المجال والتعجيل .

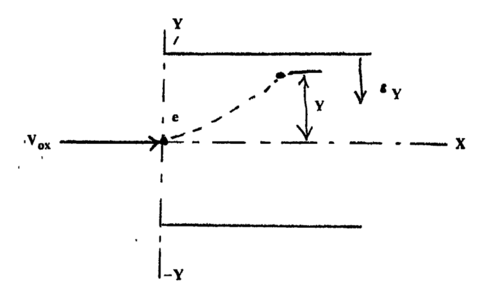


[الشكل 11-7] منظومة الاحداثيات العمودية .

فمثلاً نكتب مركبة السرعة على المحور x بالشكل V_x وتقاس (m/s) ونكتب مركبة القوة على المحور y بـ f_y وتقاس بـ N وهكذا . ولا يمكن معرفة حركة الالكترون في مجال كهربائي معين ما لم يعرف سرعته الابتدائية وازاحته .

وتعني كلمة الابتدائي قيمة السرعة او الازاحة في زمن المراقبة او t = o ويستعمل الرمز o لبيان القيم الابتدائية هذه . فعلى سبيل المثال تكتب المركبة الابتدائية للسرعة على طول محور x تكتب بالشكل V_{ox} .

لاحظ الآن المجال الكهربائي ذا الشدة الثابتة مع خطوط القوة المؤشرة باتجاه السالب المبينة في الشكل 7.12 . فإن الالكترون الذي يدخل هذه المجال باتجاه الموجب لـ x . وبسرعة ابتدائية V_{ox} سوف يواجه قوة معينة . وبما ان المجال يعمل فقط باتجاه المحور y فسوف لا تكون هناك قوة على المحورين x و z أي أن تعجيل الالكترون على هذين المحورين صفراً وهذا الصفر يعني بأن السرعة ثابتة وبما ان الالكترون يدخل المجال باتجاه الموجب وبسرعة ابتدائية V_{ox} فانها ستستمر بالتنقل على طول المحور x بتلك السرعة .



الشكل 12-7 مسار حركة الالكترون في مجال كهربائي منتظم .

بتطبيق قانون نيوتن الثاني للحركة على القوة المسلطة على الالكترون باتجاه تؤول الى

$$f = m\ a_y$$

$$a_y = \frac{f}{m} = \frac{-e \in_y}{m} = \text{ثابت} \qquad (7.8)$$

توضح المعادلة (7.8) ان الالكترون يتحرك بتعجيل ثابت باتجاه y ضمن المجال الكهربائي ولاجل ازاحة الالكترون بسبب قوة التعجيل هذه نستعمل التعبير المعروف للسرعة والازاحة .

$$V = V_o + at\ (m/s) \qquad \text{(السرعة)} \quad (7.9)$$

$$x = x_o + V_o t + \tfrac{1}{2} at^2 \qquad \text{(الازاحة)} \quad (7.10)$$

وبسبب الظروف الابتدائية اذ تكون السرعة الابتدائية صفراً باتجاه $(V_{oy} = o)\,y$ فإن المعادلة 7.9 تصبح $V_y = a_y t$ (m/s)
وتصبح كذلك بعد التعويض في المعادلة (8-7)

$$V_y = \frac{-e \in_y t}{m}\ (m/s) \qquad (7.11)$$

إن ازاحة الالكترون باتجاه y من المعادلة (7.10) تصبح بعد تطبيق الظروف الابتدائية (الازاحة صفراً ($y_o = o$) والسرعة صفراً (= V_{oy}) كالآتي : ـ

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2\ (m)$$

وينتج بعد تعويض المعادلة (7.8) في المعادلة السابقة فيما يلي

$$y = \frac{-e \in_y t^2}{2\ m}\ (m) \qquad (7.12)$$

تعتمد المسافة x التي ينتقل فيها الالكترون في الزمن t على السرعة الابتدائية ويمكننا كتابتها بعد استعمال المعادلة (7.10) .

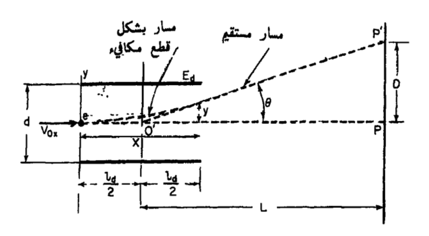
$$X = Xo + V_{ox}\, t + \frac{1}{2} a_x\, t^2 \ (m)$$

والتي تصبح بعد تطبيق الظروف الابتدائية باتجاه x ($xo = o$) و ($a_y = o$)

$$x = V_{ox} t \quad \text{أو} \quad t = \frac{X}{Vox} \quad (7.13)$$

بتعويض المعادلة (7.13) في المعادلة (7.12) نحصل على علاقة على الانحراف بدلالة المسافة للمسافة الافقية المقطوعة من قبل الالكترون .

$$y = \left[\frac{-e \in y}{2\, V_{ox}^2\, m} \right] x^2 \ (m) \quad (7.14)$$



الشكل 7.13 انحراف حزمة اشعة المهبط

إذ توضح المعادلة 7.14 إن مسار الالكترون المتنقل خلال مجال كهربائي ذو شدة ثابتة (يدخل المجال بزاوية قائمة على خطوط المجال) بشكل قطع مكافيء في المستوى xy يوضح الشكل السابق صفيحتان موازيتان تدعيان صفائح الانحراف على بعد d عن بعضها البعض كما هو موضح في الشكل (7.13) وتربطان الى مصدر بفرق جهد E_d بحيث يتكون المجال الكهربائي E بين الصفيحتين . وان شدة هذا المجال يعطي بالعلاقة : ـ

$$\epsilon = \frac{E_d}{d} \quad (V\ /m) \qquad (7.15)$$

فالالكترون الذي يدخل المجال بسرعة ابتدائية Vox ينحرف باتجاه الصفيحة الموجبة متبعاً مساراً بشكل قطع مكافيء كما في المعادلة (7.14) الموضح في الشكل (7.13) وعندما يترك الالكترون هذه المنطقة من صفائح الانحراف فان قوة الانحراف لاتظهر بعد ذلك وينتقل الالكترون بخط مستقيم باتجاه النقطة P′ وهي نقطة على الشاشة الفلورية . إن انحراف مسار الالكترون على بعد $x = \ell d$ حيث يترك الالكترون تأثير المجال الكهربائي يعرف بما يأتي : ـ

$$\tan \theta = dy\ /\ dx \qquad (7.16)$$

ويأخذ مشتقة المعادلة (7.16) بالنسبة الى x وبتعويض $x = \ell d$ وعن قيمة y المعطاة في (7.14) ينتج :

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{e\, \epsilon y\, \ell d}{m\, V_{ox}} \qquad (7.17)$$

يكون خط انتقال الالكترون مماساً الى القطع المكافيء عند النقطة $x = \ell d$ وان هذا المماس يقطع المحور في النقطة O ويعطى موقع هذه النقطة التي تسمى نقطة الاصل الظاهره بالمعادلة (7.14) والمعادلة (7.17) وذلك لان .

$$x - O = \frac{y}{\tan\theta} = \frac{e\epsilon \ell d^2 / 2\, m\, Vox^2}{e\, Ey\, \ell d / m\, Vox^2} = ld / 2 \qquad (7.18)$$

ان نقطة الاصل الظاهرة ´O تكون في وسط صفائح الانحراف وعلى بعد L من الشاشة الفورية ويمكن اعطاء الانحارف الحاصل على الشاشة بالمعادلة

$$D = L \tan \Theta \ (m) \tag{7.19}$$

وبالتعويض tan Θ من المعادلة (7.17) نحصل على :

$$D = L \frac{e \in y \, l d^2}{m \, Vox^2} \ (m) \tag{7.20}$$

إن الطاقة الكامنة للالكترون الذي يدخل المنطقة بين صفائح الانحراف وبسرعة ابتدائية Vox هي :

$$\frac{1}{2} m V_{ox}^2 = eEa \tag{7.21}$$

اذ تمثل Ea فولتية التعجيل في مطلق الالكترونات . وباعادة ترتيب المعادلة (7.21) نحصل على :

$$V_{ox}^2 = \frac{2 \ e.Ea}{m} \tag{7.22}$$

وبتعويض شدة المجال من المعادلة (7.15) وسرعة الالكترون Vox في الاتجاه xo من المعادلة (7.22) في المعادلة (7.20) نحصل على

$$D = L \frac{e \in y \, l d^2}{m \ V_{ox}^2}$$

$$D = \frac{L \, l d \ Ea}{2 \ d \cdot Ea} \ (m) \tag{7.23}$$

إذ ان

D = الانحراف على الشاشة الفلورية (بالامتار)

L = المسافة من وسط صفائح الانحراف الى الشاشة (بالامتار)

l_d = الطول المؤثر لصفائح الانحراف (بالامتار)

d = المسافة بين صفائح الانحراف (بالامتار)

E_d = فولتية الانحراف (بالفولت)

E_a = فولتية التعجيل (بالفولت)

توضح المعادلة (7.23) إن انحراف حزمة الالكترون على الشاشة تتناسب تناسباً طردياً مع فولتية الانحراف E_d وذلك عند فولتية التعجيل معطاة E_a ولابعاد معينة للانبوبة ويوضح هذا التناسب الطردي ان الانبوبة يمكن ان تستخدم كأداة بيان الفولتية بشكل خطي . وقد فرضنا في هذه المناقشة ان E_d كانت فولتية مستمرة وثابتة . على اية حال فان فولتية الانحراف عادة كمية تتغير وان الصورة على الشاشة تتبع تغير فولتية الانحراف بشكل خطي نسبة الى المعادلة (7.23) .

تعرف حساسية الانحراف S للانبوبة بانها الانحراف على الشاشة (بالامتار) لكل فولت من فولتية الانحراف ويمكن تمثيلها بالمعادلة الاتية : ـ

$$S = \frac{D}{E_d} = \frac{L\, l_d}{2d\, E_a} \quad (m/V) \qquad (7.24)$$

إذ ان S = حساسية الانحراف (m / V)

كما يعرف عامل الانحراف (G) للانبوبة بانه مقلوب الحساسية S ويعبر عنه بالآتي : ـ

$$G = \frac{1}{S} = \frac{2\, d\, E_a}{L\, l_d} \quad (v/m) \qquad (7.25)$$

فاذا كانت قيم المعادلتين (7.23) و (7.24) معروفة فيمكن الاستنتاج إلى ان حساسية الانحراف S وعامل الانحراف G لانبوبة لا يعتمدان على فولتية الانحراف ولكن تتغير حساسية الانحراف خطياً بالنسبة الى التعجيل الجهد .

ففولتية التعجيل العالية تنتج حزمة الكترون يحتاج الى فولتية الانحراف عالية لازاحة معينة على الشاشة. وان الحزمة ذات التعجيل العالي تتعرض الى طاقة حركية اكثر وعليه تنتج صورة ذات بريق اكثر على شاشة الانبوبة ولكن انحراف هذه الحزمة اصعب وفي بعض الاحيان نسميها الحزمة الصعبة . إن القيم النموذجية لعوامل الانحراف تتراوح من 10 v/cm الى 100 v/cm نسبة الى الحساسيات 1.0 mm/v الى 0.1 mm/v على التعاقب .

7.4 أنواع الشاشات :

عندما تصطدم الاشعة الالكترونية مع شاشة الانبوبة تتكون بقعة من الضوء نتيجة هذا الاصطدام . اذ تكون الشاشة مطلية من داخلها بمادة الفسفور ، الذي يمتص الطاقة الحركية للالكترونات الساقطة وتحولها الى طاقة بسرعة أقل بحيث يمكن رؤيتها وتمتاز بعض المواد الفلورية مثل الفسفور أو أوكسيد الزنك بقدرتها على السطوع عند تعرضها للاشعاع الالكتروني وتسمى بالخاصية الفلورية . وهناك خاصية اخرى للمواد الفلورية وتسمى الخاصية الفسفورية وهي خاصية المادة للاستمرار اشعاع الضوء حتى بعد عزل المصدر المسبب (الحزمة الالكترونية في هذه الحالة) . يقاس الزمن الذي تستغرقه الخاصية الفسفورية أو الاشعاع المتأخر عادة بزمن زوال الصورة الاصلية وان شدة الضوء المنبعث من شاشة الأنبوبة تدعى بالبريق وتعتمد على عدد من العوامل أولها السيطرة على شدة الضوء بعدد الالكترونات المنطلقة والتي تصطدم بالشاشة خلال ثانية واحدة . والعامل الثاني للبريق فهو الطاقة التي يطلق بها الالكترونات التي تصطدم بالشاشة ويعتمد هذا على جهد التعجيل وان زيادة جهد التعجيل تؤول الى زيادة البريق .

والعامل الثالث للبريق هو المدة التي تصطدم بها الحزمة على مساحة معينة من الشاشة لذا فان سرعة الكسح تؤثر على البريق ، وأخيراً يعتمد البريق على الخصائص الفيزياوية للفسفور نفسه وحسب صناعته ، وهناك جداول تبين بعض خصائص المواد الفسفورية الشائعة الاستعمال ولاداعي للتطرق اليها في هذا الكتاب .

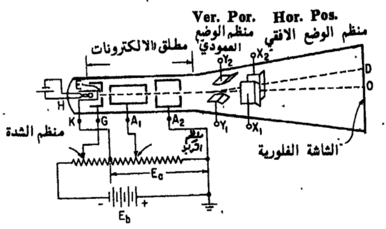
قد تتعرض الشاشة الفلورية الى اذى كبير نتيجة سوء استعمال المنظمات ووسائط السيطرة الموجودة في اللوحة الأمامية لجهاز المرسمة فعندما تصطدم حزمة الالكترونات ذات كثافة تيار عالية جداً يحصل اذى دائمي لجزء الشاشة

الذي تتعرض له هذه الحزمة نتيجة احتراق المادة الفسفورية ، وعندها ينتج ضعف في الضوء المنبعث . وهناك عاملان يؤثران على هذا الاحتراق اولها كثافة الحزمة وثانيهما مدة تعرض الشاشة لهذه الحزمة ، يمكن السيطرة على الحزمة بالمنظمات وهي الشدة **Intensity** والتركيز أو التبئير **Focus** واللااستجمية **Astigmatism** الموجودة في الواجهة الامامية للجهاز . ويمكن السيطرة على زمن تعرض الشاشة للحزمة بالمسيطر **Time/Div** أو منظم الكسح . ويمكن تجنب احتراق المادة الفسفورية في الشاشة بالمحافظة على تقليل شدة الحزمة وقلة زمن تعرض الشاشة لها .

تنتج الالكترونات المنطلقة والمصطدمة على الجدار الداخلي للشاشة انبعاثات ثانوية للالكترونات لذا تحتفظ الشاشة في حالة التوازن . إن هذه الانبعاثات الثانوية ذات السرعة الواطئة للالكترونات تجمع بواسطة البطانة الموصلة الداخلية لأنبوبة زجاجية والتي تربط كهربائياً الى المصعد الثاني ويستعمل جزء من مصعد التعجيل بطانة موصلة وفي بعض الأنابيب الخاصة التي تحتوي تركيزاً بؤرياً مغناطيسياً كما في أنبوبة جهاز التلفزيون .

7.5 ربط الانبوبة مع اجزاء المرسمة الاخرى : ــ

يتم الربط الكهربائي للعناصر المختلفة داخل الغلاف الزجاجي للانبوبة من خلال قاعدة الأنبوبة كما هو موضح في الشكل (7.14) والذي يوضح ربطاً نموذجياً للمرسمة ذات الاستخدامات العامة .



الشكل 7.14 ربط الانبوبة مع المنظمات التي تسيطر على حزمة الالكترونات من ناحية الشة والتركيز وموضع البقعة على الشاشة

يتم تجهيز الفولتيات المختلفة لمجموعة مطلقة للالكترونات بمصدرين للقدرة مربوطين على التوالي وهما الفولتية العالية لفولتية التعجيل والفولتية الواطئة للدوائر الثانوية وهناك شبكة تقسيم مربوطة عبر الجهزين لتهيئة الفولتية الاشتغال الضرورية الى المنظومة . تنظم شدة الحزمة الالكترونية بتغيير الفولتية بين المهبط والمشبك بمقاومة متغيرة قيمتها 500 موجودة في شبكة التقسيم وتربط الى الواجهة الأمامية ومؤشر عليها Focus فهي تنظم الفولتية السالبة على حلقة البؤرة لجزء العدسة السالبة على حلقة البؤرة لجزء العدسة. بين 500v — و 900v — . ويصبح تأثير العدسة اقوى (أقصر بعد بؤرى) كلما كانت حلقة البؤرة سالبة اكثر بالنسبة الى المصعدين الخارجيين . إن المسيطر Astigmatism الموجود ايضاً . على الواجهة الأمامية للمرسمة تنظم الفولتية على مصعد التعجيل بالنسبة الى صفائح الانحراف العمودية التي تلي قسم العدسة . إن هذا يشكل عدسة اسطوانية والتي تصحح اي ابتعاد أو تغيير عن التركيز البؤري وتنظم استذارة البقعة على شاشة الأنبوبة.

يمكن ان توجه الحزمة نحو اي مكان على الشاشة باستخدام مسيطرين موجودين على الشاشة الأمامية للمرسمة مؤشرين Ver. pos. أي الوضع العمودي و Hor. pos أي الوضع الأفقي فعند وضع المسيطر Ver. pos. في الوسط تكون الصفائح العمودية مربوطة الى فولتية متشابهة ولايوجد هناك مجال كهربائي بينهما . لذا فان الحزمة الالكترونية لا تنحرف وتنقل الى وسط الشاشة. وبتنظيم بسيط لمسيطر الـ Ver. pos تسلط فولتية غير متوازنة على الصفائح ويتكون مجال كهربائي بسبب فرق الجهد الناتج بين الصفيحتين ويؤثر هذا المجال على الحزمة المارة بين الصفيحتين وتغير مكان البقعة الى مكان جديد على الشاشة وبصورة مشابهة فان المسيطر Hor. pos يمكنه أن يحرك البقعة في أي إتجاه افقي على الشاشة . ومن هذا ينتج بان تنظيم كلا المسيطرين العمودي والأفقي في وقت واحد يمكنه من وضع البقعة في أي مكان على الشاشة .

7.6 منظومة الانحراف العمودي : Vertical deflection system

العناصر الاساسية :

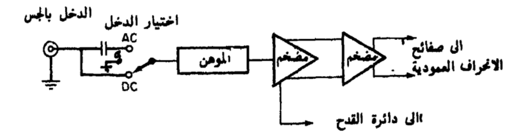
يجب أن تؤدي منظومة الانحراف العمودية ما مطلوب منها بشكل دقيق كما يجب على المنظومة أن تعيد انتاج شكل موجة فولتية الدخل بموجب ضوابط

معينة لعرض الحزمة وزمن الصعود والاتساع وإن الانحراف العمودي يهيء طريقة للعزل بين مصدر الاشارة وصفائح الانبوبة وفي بعض الحالات تهيء المنظومة العمودية تشكيلات التشغيل المختلفة كازدواج الـ d.c والـ a.c وعمليات مضاعفة وادخال فرق وغيرها . تكون هذه الامور الخاصة موجودة عادة في انواع المرسمات المختبرية الاكثر دقة والتي تستخدم ما يسمى وحدات الربط الى جهاز مباشرة .

تتكون منظومة الانحراف العمودي من العناصر المبينة في المخطط الكتلي المبين في الشكل وهي : ـ

(أ) مجس المرسمة .
(ب) اختيار الدخل .
(جـ) موهن الدخل .
(د) المضخم العمودي .

يعمل مجس الـ CRO على ربط المضخم العمودي الى الدائرة المراد فحصها من دون تحميل والا فإن الدائرة سوف تتغير معالمها . هناك عدد من انواع المجسات لتطبيقات القياسات المختلفة وتنتخب نسبة الى فولتية وتردد الدخل اي المطلوب قياسها . ويوضح الشكل 7.15 مجساً للاغراض العامة ويحوي مقاومة على التوالي (توهين الاشارة) ومتسعة متغيرة على التوازي (مخمد المجس) وكلاهما موجودان في المجس نفسه مع نهاية المجس وتوصيل الارضي . يربط المجس الى نهاية الدخل العمودي خلال كيبل محوري . اما في حالة المرسمة المستخدمة للترددات الواطئة والرخيصة الثمن فتستخدم اسلاك الربط الاعتيادية بدون مجس آخر .



الشكل 7.15 مخطط كتلي يبين عناصر منظومة الانحراف العمودي .

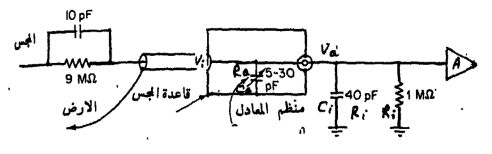
1 ـ منتقي الدخل :

يوضح الشكل 7.15 منتقي الدخل وهو مفتاح ذو ثلاثة مواضع AC ، DC ، Gnd (تيار متناوب ـ ارضي ـ تيار مستمر) فعند وضع المنتقي على الوضع AC فإن الاشارة تدخل عن طريق متسعة الى الموهن . فالمتسعة تحجز مركبة الـ DC للموجة الداخلة وتسمح فقط المركبة الـ AC في الدخول للمضخم . وتكون هذه الخاصية مفيدة وتسمح لقياس فولتيات اشارة التيار المتناوب المتراكبة مع فولتيات انحياز DC .
فلدى وضع المنتقي على DC تربط الى المضخم مباشرة وتكون هذه القياسات مفيدة لايجاد قيمة الفولتية الآنية الكلية .
اما ربط الارضي على المنتقي فإنه موجود في بعض المرسمات كموضع وسط بين الـ AC والـ DC وهي حالة سالبة لازالة اي شحنة مخزونة في موهن الدخل بتأريض دخل الموهن كلما انتقل موضع المفتاح من حالة الـ DC الى حالة الـ AC .

2 ـ موهن الدخل **Input attenuator**

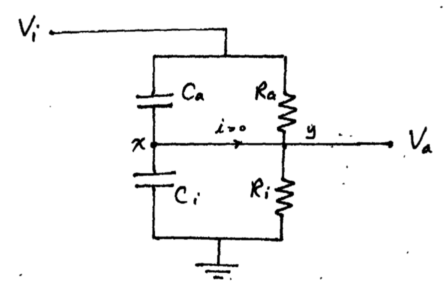
يتكون موهن الدخل من عدد من تقسيات الفولتية RC يمكن السيطرة عليها من الواجهة الامامية للمرسمة عن طريق المفتاح المتعدد الخطوات Volt/Div . ينظم هذا المنتقي بدلالة عامل الانحراف (v/div) عادة بالترتيب 1-2-5 . ويكون المدى النموذجي لتنظيم الموهن هذا 0.1 ، 0.2 ، 0.5 ، 1 ، 2 ، 5 ، 101 ، 20 ثم 50 فولت لكل تقسيم مع اقصى توهين على الوضع 50v/div . ولاجل ضمان عمل المرسمة على مدى تردد خاص (عرض الحزمة النموذجي dc-25MHZ) فان توهين اشارة الدخل يجب ان لاتعتمد على التردد وهذا يتطلب مايسمى بالموهن المعادل **Compensated attenuator** يوضح الشكل 7.16 نموذجاً لموهن الى جانب مرحلة الدخل للمضخم العمودي والذي تكون ممانعة دخله ممثلة بالمقاومة R_1 على التوازي مع C_1 .

يمكن وضع الموهن بحيث أن الاشارة تربط مباشرة الى مضخم الدخل من دون توهين . وفي مثالنا هذا يعود الى الوضع 0.1v/div او اقصى حساسية لمنظومة الانحراف العمودي . وعندما يكون المفتاح في حالة ربط الشبكة الموهنة الى الدائرة ، يأخذ تقسيم الفولتية محله وينتج من ذلك فولتية الخرج V_a متناسبة مع ممانعة الدائرة الكلية ففي الموهن المعادل تكون هذه النسبة في الموهن المعادل



شكل 7.16 موهن الدخل مع مجس 10 الى 1 .

من الممانعات ثابتة ولا تعتمد على تردد فولتية الاشارة وبتغيير C_a بحيث يصبح ثابت الزمن R_aC_a مساو لثابت الزمن R_iC_i وقد وضح ذلك في الشكل 7.17 اذ تشكل R_a و C_a و R_i و C_I قنطرة كهربائية .



الشكل 7.17 قنطرة دائرة التوهين في منظومة الانحراف العمودي .

تكون القنطرة في حالة توازن عندما يكون $R_a X_{ci} = R_i X_{ca}$ او عندما يكون $R_aC_a = R_iC_i$ فعند الموازنة لايوجد تيار في الفرع xy ويمكن رفع التوصيل من الدائرة .

لذا نحصل على فولتية الخرج عند توازن القنطرة بمقسم الفولتية المقاومي ويساوي .

$$V_a \quad \frac{R_i}{R_a + R_i} \quad V_i \qquad (7.26)$$

7.7 قياس زاوية الطور والتردد :

يمكن بالمرسمة قياس زاوية الطور بين الموجات الجيبية وينجز ذلك بتسليط احدى الموجات على الصفائح العمودية والاخرى على الصفائح الافقية مكونة هيئة الشكل الناتجة على الشاشة اما بشكل خط مستقيم او دائرة او شكل بيضوي ويعتمد ذلك على زاوية الطور كما هو موضح في الشكل (7.18) حيث يلاحظ الشكل الناتج على الشاشة عندما تكون زاوية الطور بين الموجتين المسلطتين على الصفائح الافقية والصفائح العمودية صفر و 45 درجة و 90 درجة . هذا وإن طريقة حساب زاوية الطور تكون كالآتي : —
نفرض مثلاً ان موجة الفولتية المسلطة على الصفائح الافقية هي : —

$$V_H = V_p \sin \omega t$$

وإن موجة الفولتية المسلطة على الصفائح العمودية هي : —

$$V_v = b \sin (\omega t + \phi)$$

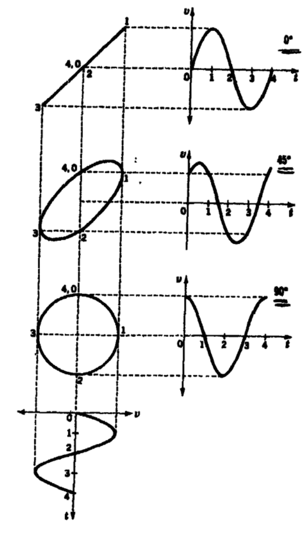
فعندما يكون $t = o$ فإن $V_H = o$ ويعني ذلك ان الانحراف الافقي صفر وان الانحراف العمودي يمكن اعطاءه بالقيمة a عند هذه النقطة وكالآتي :

$$V_v = b \sin \phi = a$$

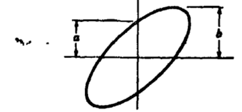
وعند ايجاد قيمة ϕ فانها فهي :

$$\phi = \arc\sin \frac{a}{b}$$

كما يمكن ايجاد النسبة مباشرة من قياس ابعاد الشكل الناتج على الشاشة كما هو مبين في الشكل (7.19) مع ملاحظة ان شكل الموجة يجب ان يكون في موضع وسط بالنسبة الى خطوط المحاور الافقية والعمودية على الشاشة لكي تكون المعادلة اعلاه صحيحة ويمكن استخدامها لغرض حساب الزاوية بصورة جيدة إن الاشكال المبينة في الشكل (7.18) هي امثلة اللاشكال الليسجية والتي

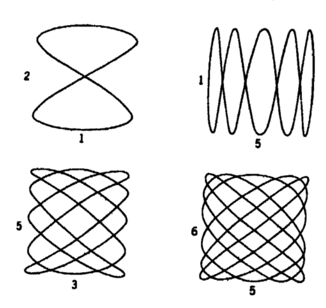


الشكل 7.18 الاشكال الليسجية لفرق زوايا الطور بين فولتيات الدخل العمودية والافقية $0°$ ، $45°$ ، $90°$.



الشكل 7.19 تحسب زاوية الطور بين الفولتيات المسلطة على الصفائح العمودية والافقية للمرسمة من معرفة نسبة a الى b .

تستخدم هي الاخرى لايجاد النسبة بين ترددات الموجتين المسلطتين على المرسمة . حيث تسلط احدى الموجات الجيبية على صفائح الانحراف العمودي والاخرى على صفائح الانحراف الافقية . واذا كانت النسبة بين الترددين لهاتين الموجتين عدداً غير صحيح مثل 1/2 ، 1/4 ، 2/3 ... الخ . فإن الشكل على الشاشة سوف يكون مستقراً وثابتاً ولا يتحرك . وإن نسبة الترددات تسحب من عدد رؤوس الحلقات الموجودة على الشاشة الملامسة للخط العمودي لحافة الشكل بالمقارنة مع عدد رؤوس الحلقات الموجودة على الشاشة الملامسة للخط الافقي لحافة الشكل على الشاشة . وإن سبب ذلك يعود الى ان عدد كامل من الموجات الجيبية المسلطة على الصفائح الافقية تكمل في الوقت نفسه اكتمال الموجات الجيبية المسلطة على الصفائح العمودية . ويوضح الشكل (7.20) بعض الأمثلة النموذجية لترددات مختلفة وقد اشتقت هذه الاشكال بالطريقة نفسها التي استخدمت في تحليل الشكلين السابقين (7.18) و (7.19) والاشكال المرسومة على الشاشة في الشكل (7.19) هي لنسبة التردد المسلطة على صفائح الافقية والعمودية نفسها والاختلاف الوحيد يكون في وقت تردد الموجتين عند نقطة الاصل اي الاختلاف في زاوية الطور لذا فإن الشكل هو لنسبة الترددات 1:1 . هذا ولو ان اساس استخدام الاشكال الليسجية هو لايجاد نسبة الترددات لكل من الموجات الجيبية وغير الجيبية الا ان الموجات غير الجيبية لا تكون الصورة فيها واضحة بشكلها الصحيح .



الشكل 7.20 الاشكال الليسجية لنسب الترددات 2:1 ، 1:5 ، 5:3 ، 6.5 كما مؤشر .

7.8 مسائــــل

1 ـ هل يمكن استخدام مرسمة الترددات لاشعة المهبط لقياس التيار وضح الاجابة بشرح بسيط.

2 ـ ارسم المخطط الكتلي لاجزاء المرسمة الرئيسة واكتب على المخطط اسماء الاجزاء المهمة.

3 ـ هل تعد المرسمة من الاجهزة الالكترونية للقياس، لماذا؟

4 ـ وضح بمخطط بسيط توصيلات ربط انبوبة اشعة المهبط بدوائر السيطرة المختلفة.

5 ـ اذكر خمسة امور هامة تطبقها عند استخدام المرسمة لأجل العناية بالجهاز والمحافظة عليه من العطب.

6 ـ اشرح فكرة التركيز البؤري في المرسمة.

7 ـ اشرح مستعيناً بالمعادلات علاقة الانحراف على الشاشة والفولتية المسلطة.

8 ـ مالغرض من خط التعويق في المرسمة.

9 ـ وضح بالرسم شكل الموجة الناتجة على الشاشة مرسمة اذا كان تردد موجة سن المنشار المسلطة على الصفائح الافقية نصف تردد الموجة الجيبية المسلطة على الصفائح العمودية.

10 ـ وضح بالرسم الشكل الذي يظهر على شاشة المرسمة اذا سلطت موجتان جيبيتان على الصفائح العمودية والصفائح الافقية وكانت زاوية الطور بينهما 30 درجة تحقق من النتيجة باستخدام الحساب النظري لزاوية الطور.

11 ـ ارسم مخطط منظومة الانحراف العمودي للمرسمة موضحاً الاجزاء المهمة على الرسم.

12 ـ اذا كان زمن الكسح الأفقي في مرسمة الترددات 0.2 ملي ثانية. ارسم اشكال الموجات الاتية حسب ظهورها على الشاشة

1 ـ موجة متناوبة جيبية ترددها الزاوي (ω = 10,000 rad /sec)

2 ـ موجة متناوبة مربعة زمنها 0.1 ملي ثانية.

3 ـ موجة مثلثية موجبة تتكرر 10,000 مرة في الثانية.

13 ـ ارسم مخططاً يوضح الحصول على نصف موجة على شاشة المرسمة.

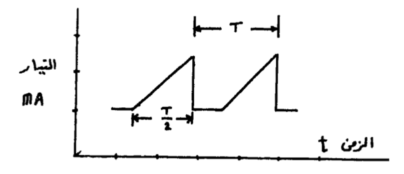
14 ـ هل يستخدم التركيز البؤري الكهروستاتيكي في المرسمة لغرض تصغير الموجة بجمع اشعتها الضوئية؟ اذا كان الجواب النفي اشرح عملية التركيز البؤري الصحيحة.

15 ـ هل يمكن اشتقاق مكان سقوط البقعة المضيئة على شاشة المرسمة بواسطة قوانين نيوتن . اذكر السبب وما علاقة ذلك بكتلة الالكترون او شحنتها .

16 ـ يعد الزمن الذي يستغرقه الالكترون للمرور بين صفائح الانحراف من احد العوامل التي تحدد التردد الذي يعمل به جهاز المرسمة . مفترضاً بأن الزمن هذا يقارب زمن 0.2 من الذبذبة الواحدة للتردد . احسب اعلى تردد يمكن استخدامه اذا كان طول الصفائح 1cm والطاقة الحركية للالكترون 2000eV عند دخوله الصفائح . احسب حساسية الانحراف S للمرسمة اعلاه اذا كانت L (المسافة بين الشاشة ومنتصف صفائح الانحراف) تساوي 30cm والمسافة d بين صفائح الانحراف تساوي 7cm .

17 ـ مرسمة فيها فولتية التعجيل بين الصفائح التعجيل والمهبط 2 كيلوفولت احسب سرعة حزمة الالكترونات .
اذا كان طول صفائح الانحراف العمودي 1.5cm والمسافة بينها 0.5cm وبُعد وسطها عن الشاشة 50cm .
أ ـ جد حساسية الانحراف بوحدات الفولتية المسلطة على صفائح الانحراف على انحراف الحزمة على الشاشة بالملمترات .
ب ـ التردد الممكن قياسه بهذه المرسمة اذا اعتبرنا زمن مرور الحزمة لا يزيد عن 0.1 من زمن ذلك التردد .

18 ـ قمنا بقياس التيار الذي ظهر على الشاشة المرسمة كما مبين في الشكل بواسطة ثلاثة مقاييس تيار مختلفة ربطت على التوالي الاول من نوع دى ارسنفال والثاني من نوع الحديد المتحركة والثالث من النوع المزود بقنطرة مقوم .
جد قراءة كل مقياس ثم جد نسبة الخطأ في القياس اذا كانت المقاييس خاصة بقياس القيم الجيبية .



19 ـ مرسمة مختبرية وضع منظم سعة الموجة على 1V/cm ومنظم القاعدة الزمنية على 0.02ms/cm الشاشة مربعة عرض الكسح 10cm . معتبراً كسحاً مثالية . ارسم اشكال الموجات الناتجة المسلطة على نهايات الدخل العمودية .

أ ـ فولتية $V = 5 \cos (10^4 \pi t)$

ب ـ موجة مثلثية ذات زمن ذبذبة 0.1ms واتساع 3V

حـ ـ نبضة تكرر 2000 مرة في ثانية وتظهر عند 50% من الفترة واتساع 10V

20 ـ ارسم المخطط الكتلي للمرسمة موضحاً شكل الموجة العمودية والافقية الداخلة والموجة الناتجة على الشاشة . على أن تكون الموجة المسلطة على الصفائح العمودية جيبية الشكل .

ب) مرسمة فيها عامل الانحراف 5V/mm deflection factor والمسافة من الشاشة الى وسط الصفائح العمودية L = 20cm المسافة بين الصفائح العمودية d = 5mm طول الصفائح العمودية يجب ان لايزيد عن 0.1 من زمن الموجة المسلطة على نهايات الجهاز .

احسب اقصى تردد يمكن استخدامه في هذه المرسمة مع العلم ان شحنة الالكترون 1.6×10^{-19} C كتلة الالكترون 9.1×10^{-13} kg .



اجهزة القياس الالكترونية

مقدمة :

ان التطور السريع خلال السنوات الاخيرة الماضية للدوائر المتكاملة ذات المقياس الكبير وتطبيقاتها في الدوائر التناظرية أو الرقمية بصورة خاصة أدت الى تطورات كبيرة في اجهزة القياس الالكترونية من ناحية التصميم وفي انظمة القياس فضلاً عن سرعة انتاجها وانتشارها بصورة واسعة وتغلغلها في كثير من المجالات المهمة وخاصة في اجهزة السيطرة الحديثة.

تتوفر الاجهزة الحديثة بشكل اجهزة متعدد الغايات ومنها ماتستخدم المعالجات الدقيقة للسيطرة على عمليات القياس المتسلسلة فضلاً الى الاستفادة من الذاكرة الداخلية لهذه المعالجات التي تفيد في عمليات المقارنة والبرمجة وخزن المعطيات وتكون هذه الاجهزة ذات الاغراض المتعددة وبهذه الميزات الكبيرة رخيصة التكاليف من ناحية انتاجها وفي عملية الصيانة اذا تجنبنا بعض الحالات التي تحتاج الى خبرات عالية في تشغيلها او الى جمع بعض المعطيات الخاصة.

تصمم الاجهزة الالكترونية في الوقت الحاضر لتتلاءم في عملها مع الانظمة القياسية مثل (IEC bus او IEEE 488 bus) لتكوين انظمة قياس ذاتية بعد جمعها مع بعض بسهولة مثل تطبيقات السيطرة الرقمية ذات التغذية العكسية ، ويتضمن مثل هذا النظام اجهزة التحسس (اذ قد يبلغ عددها 30 او اكثر) ويسيطر على هذه العمليات في استقبال المعطيات اللازمة وخزنها حاسبة رقمية خاصة. ويمكنها بعد ذلك تنفيذ بعض العمليات الحسابية او الاحصائية

واعطاء النتائج المطلوبة . وتستخدم اجهزة تحويل (D/A) تناظري الى رقمي ذات السرعة العالية لتحويل القيم التناظرية الى مايقابلها من سلسلة نبضات رقمية . ويتم بعد ذلك التعامل مع الانظمة الرقمية داخل الحاسبة بسهولة وبكفاءة اعلى ، وتجري عملية اخراج النتائج بشكل رقمي او تحول الى قيمة تناظرية بشكل منحني في جهاز الرسم مثلاً وذلك باستخدام اجهزة او دوائر التحويل الرقمي الى تناظري (A/D) . وكما هو معلوم فإن النواتج الممثلة بشكل تناظري تكون أكثر ملاءمة للعين البشرية والقليلة الكلفة نسبياً .

دخلت الاجهزة الالكترونية في الوقت الحاضر في كثير من المعامل والمصانع ذات الانتاج الواسع كما استخدمت هذه الاجهزة في فحص الناتج والتأكد من جودتها ، وتحتاج هذه العملية الى اجهزة قياس معقدة بعض الشيء في تكوينها واستخدامها ، اذ يكون فيها عدد من العوامل التي تتطلب ملايين العمليات الحسابية لتكوين دورة فحص كاملة . كما يجب عدم اهمال عامل الزمن والكلفة في هذه الحالة . وتتطلب أنظمة القياس التناظرية او الرقمية في اغلب الاحيان برامج تسيطر على سير عملية القياس فضلاً عن المقارنات اللازمة مع قيم او ارشارات توضع مسبقاً داخل الذاكرة . وقد اصبحت اجهزة القياس الذاتية أكثر انتشاراً في الوقت الحاضر في خطوط الانتاج لاغلب المعامل والتي تستخدم هذه الاجهزة في عمليات التصنيع وعمليات السيطرة النوعية كذلك ، وتفخر كثير من المعامل التي تختص في اتجاهها نحو السيطرة الالكترونية في دقة ورخص المواد المنتجة .

وسنحاول في هذا الفصل ذكر بعض انظمة القياس المهمة والتي تدخل فيها اجهزة القياس الالكترونية وقد ادت الزيادة في هذه الاجهزة وتعددها بصورة سريعة الى تصنيفها الى الصنفين الآتيين :

أ ـ الاجهزة التناظرية : وهي الاجهزة التي تزود في نتائجها دوالاً مستمرة وبتغير تدريجي عند الخرج في حالة وجود تغيير في كمية الدخل . ومن امثلة الاخراج المؤشر في بعض اجهزة القياس ، او الراسم الالكتروني .

ب ـ الاجهزة الرقمية : وهي الاجهزة التي تظهر نتائجها بشكل ارقام اعتيادية او بنظام رقمي آخر (ثنائي ـ ثماني) وتعطي قيماً بشكل دوال غير متصلة عند تغير كمية الدخل وتكون الدقة في اجهزة القياس الرقمية اعلى منها في الاجهزة التناظرية .

إن وظيفة المقاييس او اجهزة القياس بصورة عامة هي الحصول على معلومات تشير الى مقدار او كمية الشيء المقاس . ويجب في عملية ربط المقاييس تجنب التأثير الناتج من جراء الربط على مقدار الكمية المقاسة او الظاهرة التي نحاول تمييزها او قياسها .
واذا استثنينا المقاييس الالكترونية للفولتية (ذات ممانعة ادخال عالية جداً) نلاحظ ان معظم هذه الاجهزة تستهلك قدرة معينة ولو قليلة جداً وبحدود 1 مايكروواط. يمكن تمثيل ممانعة الادخال لهذه الاجهزة بوضع (او فرض) متسعة تتراوح بين 2 الى 50 بيكوفاراد ومقاومة تساوي عدداً من الميكا أوم .

8.1 المقاييس الالكترونية للفولتية التناظرية :

تمتاز الاجهزة الالكترونية المستخدمة في قياس الفولتية بخاصية وجود ممانعة ادخال عالية مع قابلية على تكبير اشارات الدخل ذات الترددات العالية والتي تصل الى **1GHz** او اكثر . على الرغم من تحديد معظم الاجهزة بترددات بين **5** الى **10** ميكا هرتز وذلك بوجود متسعة الادخال التي تحدد من تطبيقات الترددات العالية .

يمكن استخدام المقياس الالكتروني في قياس مدى واسع لفولتية الادخال ، ويجب ان تحدد اتساع اشارة الادخال بقيم تعتمد على تصميم الجهاز نفسه وذلك باستخدام موهنات **(attenuators)** ذات الممانعة العالية للفولتيات العالية . في حين تستخدم المضخات الالكترونية ذات الكسب العالي وممانعة ادخال عالية كذلك لتضخيم فولتيات الادخال الواطئة ، ويجب ان تكون ممانعة الاخراج للمضخم الاخير في الحالتين واطئة ، بحيث يعمل المضخم كمصدر تيار لتحويل **ac** الى **dc** عند الحاجة لقياس فولتية **ac** باستخدام اجهزة قياس **dc** واعطاء الناتج ، يمكن تقسيم تدريج المقياس عند الاخراج من اجل الحصول على قراءة ج م ت **(rms)** او قراءة لوغاريتمية **(logarithmic)** او قيم معدل او الذروة لفولتية الادخال المقاسة .

وتجب الملاحظة ان دقة القياس تعتمد بصورة اساسية على الخواص الداخلية لمغير **ac** الى **dc** . فضلاً عن المعلومات عن هيئة أو شكل الموجة . وقد يكون المقياس في بعض الاجهزة الالكترونية بصورة لوغاريتمية معطياً مجالاً واسعاً لقراءة مقدار الفولتية بـ **dB** على مقياس مفرد دون الحاجة الى تغيير مفاتيح

الجهاز مثل ذلك 100 فولت 316 مايكروفولت يمكن قراءة هذه الفولتيات وبهذا المجال الواسع بشكل dB والذي يساوي (316 ÷ 100) $20 \log_e$

$$= 110 \text{ dB}$$

8.1.1 خصائص مغير الفولتية ac الى dc

يمكن استخدام المغيرات لاعطاء فولتية خرج تمثل القيمة الحقيقية جـ م ت او فولتية الذروة او معدل الفولتية. وتدرج الاجهزة الالكترونية الخاصة لقياس هذه الكميات نسبة الى فولتية جـمت. ويكون هذا مناسباً لقراءة جـمت الحقيقية ، اما معدل الفولتية أو فولتية الذروة فتكون قراءات المقياس صحيحة في حالة كون موجه الادخال بشكل جيبي فقط .

8.1.2 مقاييس الفولتية جـمت (rms) :

إن قيمة (جـمت) للموجه هي كمية مهمة في قياسات فولتية ac وهي الفولتية (ac) المكافئة لفولتية dc في توليد كمية الحرارة نفسها في مقاومة معينة . ففي حالة الـ dc تكون كمية الحرارة متناسبة مع قيمة القدرة المبددة في الحمل المقاومي .

اي تكون القدرة في الحمل المقاومي في حالة الـ dc هي :

$$P = \frac{V_{dc}^2}{R}$$

اذ تمثل P قيمة القدرة بالواط
و R قيمة المقاومة بالاوم
V_{dc} الفولتية عبر المقاومة

اما في حالة فولتية الـ ac فتكون قيمة الحرارة متناسبة مع مربع الفولتية الفاعلة rms عبر الحمل المقاومي .

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

ويمكن ايجاد معدل القدرة في الموجة الجيبية من تكامل مربع الموجة الكاملة مقسوماً على R أي :

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_i^2}{R} dt$$

$$= \frac{1}{T} \frac{\int_0^T V_i^2 dt}{R}$$

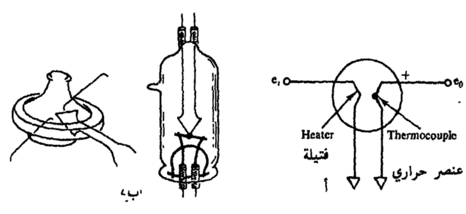
$$V_{rms} = \frac{1}{T}\int V_i^2 \, dt$$

ومن هذا نستنتج ان جهاز قياس (جـمـت) يجب أن يتمكن من ايجاد مربع الموجة ومن ثم ايجاد معدل الموجة بعد التربيع . أي يجب أن يكون للجهاز أو لأحد عناصره استجابة لمربع الموجة .

لاحظنا أن قيمة (جـمـت) لموجة ac تقدر بقيمة الحرارة الناتجة في حمل مقاومي . ولذلك تكون الطريقة المباشرة لقياس قيمة جـمـت هي بالتحسس عن قيمة الحرارة المولدة ومقارنة ذلك بكمية الحرارة الناتجة عن فولتية dc معلومة . ويدعى مثل هذا الجهاز بعنصر الاقتران الحراري والذي يستخدم غالباً في تنفيذ هذه العملية .

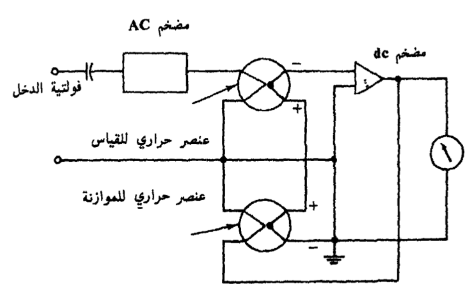
عند اتصال معدنين مختلفين ببعضها ، تتكون فولتية dc في نقطة الاتصال اعتماداً على درجة حرارة هذه النقطة (المنطقة) . ويدعى هذا الاتصال بالاقتران الحراري . وتوضع هاتان المادتان المتصلتان عادة في غلاف مفرغ من الهواء او مملوء بغاء معين كما في الانواع القديمة او من مواد شبه الموصلة المستخدمة في الاجهزة الحديثة . يوضح (8.1) الشكل الهيئات المختلفة لعنصر الاقتران الحراري مع الرسم التخطيطي .

وتجب الملاحظة هنا بأن اي جهاز يستجيب لمربع فولتية الدخل يمكن استخدامه بدلاً من عنصر الاقتران الحراري في قياس قيمة جـمـت .



شكل (8.1) أ) رمز المقترن الحراري ب) شكل المقترن

يوضح الشكل (8.2) مخططاً لاجزاء مقياس الفولتية المستخدم لقياس جـ م ت وقد ربط فيه عنصران متشابهان للاقتران الحراري .



شكل (8.2) مقياس فولتية لقراءة جـ م ت

يمكن استئصال التأثيرات غير الخطية الناتجة في عنصر الاقتران الحراري باستخدام عنصر اقتران حراري آخر ذي خواص غير خطية مشابهة للاول . تسلط اشارة الادخال على الفتيلة المقاومية لعنصر الاقتران الحراري في حين يسلط تيار التغذية العكسية على الفتيلة عنصر الاقتران الحراري المستخدم للاتزان .

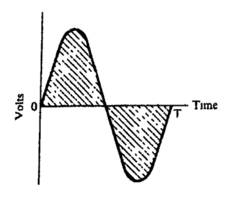
ويمكن اعتبار هذه الدائرة نظام سيطرة عكسية توافق بين قدرة الفتيلة الناتجة من الفولتية العكسية مع قدرة موجة الدخل . يتناسب انحراف المقياس لفولتية التغذية العكسية dc ، والذي يتناسب بدوره مع قيمة (جـ.م.ت) لاشارة الدخل . ويكون تأشير المقياس بذلك خطياً .

8.1.3 المقاييس الالكترونية لمعدل الفولتية :

تعرف قيمة المعدل لموجة ac بأنها معدل الفولتية الآنية خلال موجة كاملة ، او يمكن تعريفها رياضياً بانها :

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int^{T} V_i \, dt$$

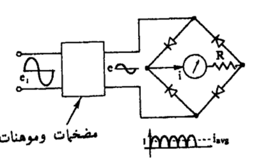
أو انها المساحة تحت المنحني مقسوماً على المدة الزمنية المحددة على المحور الزمني كما يوضح ذلك الشكل (8.3) والذي يمثل موجة جيبية .



شكل 8.3 موجة جيبية

وقد تكون قيمة المعدل في كثير من الاوقات غير مرغوب بها وخاصة في فولتية الادخال اذ مايهمنا في كثير من التطبيقات هو (جـ م ت) لموجة الفولتية . ويكون معدل الفولتية في الموجة الجيبية الكاملة مثلاً صفراً وذلك لتساوي الجزئين الموجب والسالب ولكن يكون لهما تأثيراً في توليد حرارة او طاقة اخرى . ولها التأثير نفسه عندما تكون الانصاف كافة موجبة .

يوضح الشكل (8.4) مقياس فولتية يستجيب في قراءة لمعدل الفولتية . وقد استخدم المضخم في الادخال لغرض التوفيق بين الممانعات وكما يتم شرحه لاحقاً . من المهم جداً ان تكون ممانعة الدخل عالية جداً عند الحاجة الى دقة عالية في القياس كما يستخدم الموهن لتصحيح مستوى الخرج عند تغير تدرج مقياس الفولتية ويكون الخرج من المضخمات او الموهنات (e) متناسباً مع موجة الادخال .



شكل (8.4) مقياس فولتية يستجيب لمعدل الموجة

تم عملية التقديم باستخدام القنطرة والتي ينتج عنها تيار i خلال المقياس كما موضح في الشكل (8.4) . وتكون استجابة المقياس بطيئة جداً مقارنة مع مدى موجة الدخل . اذن تم عملية ايجاد المعدل في القياس نفسه وتستخدم المقاومة R لاعطاء انحراف كامل لمؤشر المقياس .

هناك عدد كبير من الاضافات والتطويرات الى مقياس الفولتية المتحسس بمعدل الفولتية اذ يمكن الحصول على معدل الفولتية بربط متسعة مع المقياس كما هو موضح في الشكل ويمكن استخدام الفولتية عبر هذه المتسعة كاشارة ادخال الى مقياس الفولتية .

اما الموجات غير الجيبية فيمكن ايجاد قيمة المعدل بوساطة المعادلة :

$$V_{av} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left(V_1 + \frac{V_3}{3} + \dots \frac{V_n}{n}\right)$$

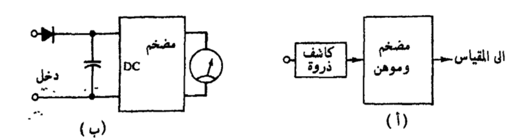
اذا تمثل V_1 ⟵ V_n قيم (جـ م ت) لمركبات التوافقية الاساسية ...... التوافقية رقم n للموجة . اما قيمة جـ م ت فيمكن ايجادها بصورة تقريبية على

فرض اهمال التوافقيات ولا يمكن معرفة القيمة الحقيقية الا بتوفر معلومات عن عامل الشكل الخاص بالموجة .

8.1.4 مقياس ذروة الفولتية :

تختلف قيمة الذورة في الموجات الجيبية عن القيمة المؤثرة (جـ م ت) ويكون عامل الاختلاف في الموجات النقية 0.707 . وبما ان قياس القيمة المؤثرة هو اكثر شيوعاً فلذلك يتم قياس فولتية الذروة ثم ضرب هذه القيمة (جـ م ت) في القيمة الثابتة 0.707 .

يوضح الشكل (8.5) مخططاً توضيحياً بسيطاً لمقياس فولتية يستجيب لذروة الموجة . وقد يكون كاشفاً بسيطاً جداً بشكل ثنائي ومتسعة فقط. ويمكن اضافة القيمة الثابتة باستخدام مقاومة او اي عنصر فاعل او تنظم حركة المقياس بصورة مباشرة . اما عند الحاجة الى دقة اعلى فتصبح الدائرة اكثر تعقيداً .



شكل (8.5) مخطط توضيحي لمقياس ذروة الفولتية
مقياس ذروة الفولتية

يوضح الشكل (8.5) مقياس فولتية الذروة وهو مقياس بسيط جداً ، اذ تشحن المتسعة فيه الى ذروة فولتية الادخال من خلال الثنائي ، ويكون طريق التفريغ عن طريق المقاومة العالية للمضخم فقط بحيث يمر تيار صغير جداً يمكن اهماله في الناحية النظرية . وبذلك تبقى شحنة المتسعة عالية تساوي ذروة فولتية الـ ac. يستخدم مضخم الـ dc في مقياس ذروة الفولتية للحصول على تيار مناسب للمقياس .

8.2 اختيار الجهاز :

يتم اختيار جهاز القياس المطلوب حسب مواصفات معينة. تعتمد على طبيعة القياس والغاية منه ، ومن هذه المواصفات هي :

١ ـ الحساسية :

تستجيب مقاييس الفولتية الالكترونية كافة مدى واسع للفولتية من ناحيتي الاتساع والتردد . ويكون التشوش NOISE من أهم العوامل التي تحدد من حساسية الاجهزة اذ يكون للمضخم ذي الحزمة الواسعة ضجيجاً اكبر من المضخم ذي الحزمة الضيقة .

ويتأثر الاول بالضجيج الخارجي اكثر من الثاني . اذن عند قياس فولتية صغيرة (3 مايكرفولت) مثلاً تحتاج الى حزمة ترددية ضيقة (من 5 هرتز الى 500 كيلوهرتز مثلاً) للحصول على نسبة الاشارة التشويش بقيمة معقولة .

2 ـ التشويش : distortion

ان درجة التشويش المتوقعة في موجة الفولتية ربما تحدد اختيار نوع مغير ac الى dc وخاصة اذا كان التشويش متعلقاً بنوعية النتائج المطلوبة . وتكون الاجهزة المتحسسة بالذروة ذات جودة في النتائج وضمن مدى ترددى واسع وخاصة عند استخدام موجات جيبية نقية عند الادخال . اما في الموجات ذات التشويش العالي فتكون اجهزة التحسس بمعدل الفولتية افضل ، ويكون ذلك على حساب عرض الحزمة . اما بالنسبة لاجهزة قياس (جـ م ت) الصحيحة فيجب ان تكون النتائج دقيقة ولاي نوع من الموجات وخاصة عند استخدامها في حسابات القدرة وبصورة عامة تكون اجهزة (جـ م ت) هذه اكثر كلفة من بقية الانواع .

3 ـ المدى :

يمكن الحصول على اجهزة قياس الفولتية التي تستخدم الترانزستورات او الدوائر المتكاملة لقياسات الفولتية بين 3 مايكروفولت و 1.5 كيلوفولت وبمدى ترددى يقع بين الصفر 1 كيكاهرتز (1GHz) وبنسبة خطأ يتراوح بين

±1 الى ±5 بالمائة ومن الصعب توفر هذه الشروط كافة في جهاز واحد . ويتم قياس التيار المتناوب باستخدام مجس (clip-on probs) والذي يتراوح بين 100 ملي امبير بتردد 10 ميكاهرتز او 25 امبير (القيمة العليا) في الترددات الراديوية تزود مقاييس فولتية dc الالكترونية بعدد من المديات ولها نسب مئوية للخطأ مشابه للتي في اجهزة الـ ac وتستخدم عادة كاجهزة متعددة الاغراض فهي تعطي قراءات للتيار من 10 بيكوامبير الى 10 امبير ونسبة خطأ 2-3% وتعطي كذلك قراءات لقيم المقاومات بين عدد من الاومات الى 100 ميكا أوم وبنسبة خطأ تتراوح بين 2-5% .

8.3 الاجهزة التفاضلية :

تعتمد فكرة مقاييس الفولتية الالكترونية التفاضلية على فكرة تشابه عمل الجهاد في القياس ، والذي يتم فيه موازنة فولتية غير معروفة مع فولتية اخرى معروفة (المرجع) . والتي تحصل عليها من نسب مقاومات او من ثنائيات زينر او من خلايا ويتستون ذات الفولتية الثابتة . وتحتاج هذه الاجهزة (التفاضلية) على الاقل الى مغيرات الكترونية للممانعة 10 كيكا أوم لعزل المدى ذات الممانعة الواطئة ودوائر القياس للمجهاد عن الفولتية غير المعروفة ولكافة القيم .

وتكون اجهزة قياس الفولتية هذه ذات دقة عالية ، اذ يمكن استخدامها لقياس فولتيات الى حد 1 كيلوفولت ونسبة خطأ لاتتجاوز 20 جزأ من مليون ، وعلى الرغم من دقتها واستقراريتها العاليتين الا ان اداءها الجيد ينخفض بسرعة خلال بضعة اشهر من صناعتها .

مقاييس الفولتية الالكترونية :

يعد مقياس ارسنفال من اسهل انواع المقاييس المستخدمة عملياً وهو لا يحتاج الى اي مصدر قدره لغرض تحريك المؤشر وانما ياخذ هذه القدرة من الدائرة التي يطلب قياس فولتيها . وتعتمد دقة القياس في هذا النوع على حساسية حركة المؤشر للتيار المار به فقد تبلغ حساسية المقاييس الاعتيادية ± 3 بالمائة من التدرج الكامل اما في المقاييس الدقيقة والغالية الثمن فقد لايتجاوز ± 1 من التدريج الكلي .

8.4 تغذية مقياس الفولتية من مضخم :

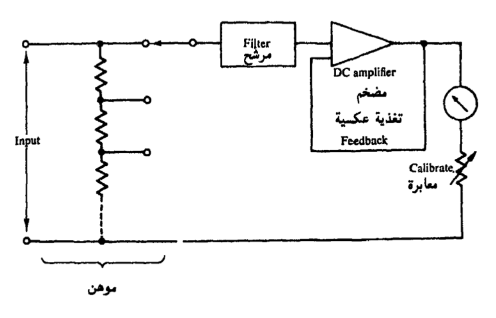
يمكن الحصول على تطور ملحوظ في الاداء عند تغذية المقياس بوساطة مضخم . اذ يوفر المضخم في هذه الطريقة حساسية اكبر فضلاً عن ارتفاع مقاومة الادخال نسبة الى الحالة الاعتيادية للمقياس من دون مضخم . وتكون مقاومة الادخال في المضخم الالكتروني عادة عالية اذ لا تحتاج الى تصحيح القراءات او ضربها بعامل معين نتيجة التحميل الناتج من ربط المقياس الى الشبكة . ويمكن تقدير الحساسية النموذجية بين 0.5 الى 5 بالمائة تقريباً .

يستخدم نوعان من مقاييس الفولتية في الناحية العملية .

1) نوع الربط المباشر

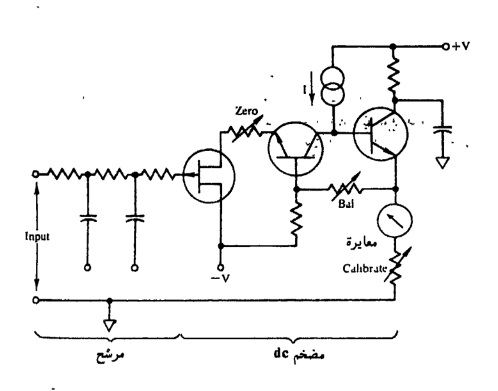
2) نوع القاطع الالكتروني

ويمكن ايجاد النوع الاول عادة ضمن اجهزة القياس الالكترونية الرخيصة نسبياً . يوضح الشكل (8.6) مخططاً توضيحياً لمقياس الفولتية نوع الربط المباشر .



شكل (8.6) مخطط لمقياس فولتية بربط مباشر

وكما هو الحال في المقاييس المتعددة الاغراض ، يوضع في دائرة الادخال موهن لغرض تغيير حساسية المقياس عند تغيير التدرج . فمثلاً اذا كانت حساسيته الاعتيادية هي 100 ملي فولت من دون موهن ، فعند قياس 1000 فولت يجب وضع موهن الادخال للحصول على توهين 1:10,000 ويستخدم مرشح dc لاستئصال أي إشارة ac والتي قد تختلط في إشارة الادخال . اما مضخم dc الموضح في الشكل (8.7) فهو لتضخيم إشارة الادخال (dc) للسيطرة وسوق المقياس . وتستخدم التغذية العكسية في المضخم من اجل زيادة استقرارية خواص المضخم نفسه .



شكل (8.7) دائرة مقياس الفولتية نوع الربط المباشر

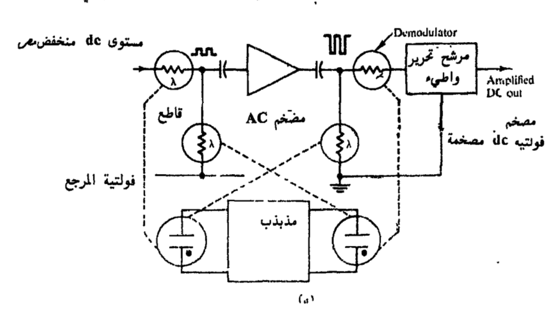
وعلى الرغم من ان مضخم الربط المباشر ذو مقاومة ادخال عالية ، ولكن يكون التدرج السفلي عادة في حدود 0.1 الى 1 فولت فقط وهو يتحدد باستقرارية مضخم الـ dc . واستقرارية الـ dc هي مقياس لمقدرة المضخم في الحفاظ على قراءة ثابتة عند ثبوت إشارة الادخال . وقد يتسبب الانحراف (Drift) عادة من تغيير في موضع نقطة التشغيل (العمل) لترانزستور تأثير المجال وذلك عند اختلاف درجة الحرارة .

ويكون هذا الانحراف في نقطة التشغيل بتأثير تغيير بسيط في فولتية الادخال لا تتجاوز بضع ملي فولتات .

اما مقياس الفولتية الالكتروني المعتمد في عمله على المضخم القاطع (Chopper Amp) فله تدرجات لمدى أوسع اذ تقدر القيم الصغرى بالملي فولت او المايكروفولت على الرغم من كلفته العالية نسبياً اذا قورن مع النوع السابق .

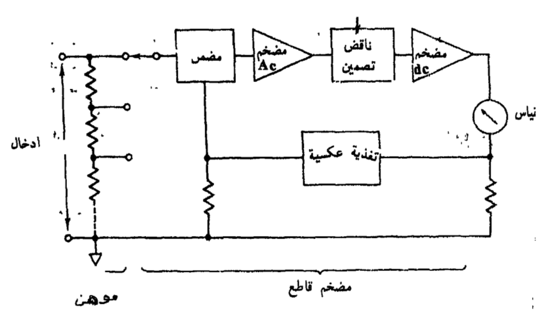
وفكرة عمله سهلة جداً ، إذ يحول التيار الداخل (dc) الى مايعادله من تيار (ac) ثم يضخم بمضخم (ac) وبعد ذلك يحول مرة ثانية الى (dc) . وتفيد هذه العملية في التخلص من تأثير الانحراف اذ لا يمر تيار dc خلال المضخم الى دائرة الاخراج .

يوضح الشكل (8.8) مخططاً توضيحياً للمضخم القاطع . إذ أستخدم في هذه الدائرة مضخم قاطع خاص يتضمن قاطعاً معتمداً على خلية ضوئية ودائرة نقض التضمين . وتكون مقاومة الخلية الضوئية ذات قيمة عالية (بضع ميكا أوم) في حالة عدم وجود الاضاءة وتنخفض الى قيمة صغيرة (عشرات أو مئات الاوم) عند تسليط الاشعة الضوئية عليها . وتكون المدة الزمنية اللازمة لهذا التغير العامل المهم الذي يحدد من سرعة القاطع ، وتثبت أربع خلايا ضوئية عادة في مجموعة واحدة مع مذبذب (neon oscillator) . وتزود هذه الفكرة عملية نقض التضمين de modulation فضلاً الى مضمن modulator نصف موجي .



شكل (8.8) مخطط توضيحي لمقياس فولتية يستخدم مضخماً قاطعا

ويوضح الشكل (8.9) مقياس فولتية الكتروني ويستخدم المضخم القاطع. ويكون عمل الموهن عند الادخال هو لتحديد التدرج اللازم وتحسين استقرارية المضخم فضلاً عن استخدام التغذية العكسية. وتفيد التغذية العكسية في المضخم في زيادة مقاومة ادخال المضخم اذ تتجاوز **1000** ميكاأوم. اما مقاومة ادخال الجهاز الفعلية فتحدد بمقاومات موهن الادخال.



الشكل (8.9) مقياس فولتية يستخدم الموهن والتغذية العكسية في زيادة استقرارية المضخم.

8.5 المقاييس الالكترونية الرقمية :

تستخدم الاجهزة الالكترونية الرقمية لاعطاء نتيجة القياسات بشكل أرقام أو اشارات معينة بدلاً من حركة المؤشر المستخدمة في الاجهزة التناظرية.

وهناك عدد من الفوائد التي تجعلنا نتجه الى اختيار المقاييس الرقمية فمثلاً القراءة الرقمية تقلل من احتمال الخطأ في رؤية العين البشرية. فضلاً عن زيادة سرعة القراءة ومن الأساليب الاخرى المستخدمة في الاجهزة الرقمية لتقليل احتمالية الخطأ في القراءة أسلوب القطبية الذاتية وتغير التدرج. كما يكون لقسم

منها قابلية على اخراج النتائج الى مسجلات ثابتة لحفظ القياسات أو طبع ذلك على أوراق ، أو شريط مغناطيسي أو غيرها .

تتوفر أنواع كثيرة من المقاييس الرقمية للفولتية فضلاً عن قابليتها في قياس فولتية dc فهي تقيس فولتية ac وقيم التيار والمقاومة وهناك انواع متعددة للمقاييس الرقمية للفولتية تختلف في اسلوب معالجتها واختلاف الدوائر الرقمية التي تتضمنها ومن هذه الانواع هي :

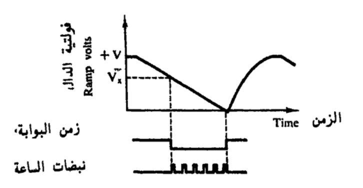
1 ـ الانحدار الخطي : linear Ramp
2 ـ التوازن بالشحن : charge balancing
3 ـ تكامل الفولتية الى التردد :
4 ـ الانحدار التدرجي :
5 ـ التقريب المتراكم :
6 ـ خليط من الانواع السابقة :

1 ـ الانحدار الخطي :

وهي علاقة الفولتية بالزمن الذي يستخدم فيه القاعدة ـ الزمنية الخطية Linear time- base في تحديد الزمن اللازم في توليد الفولتية داخلياً .

ويتناسب الزمن مباشرة مع الفولتية غير المعروفة عند الادخال اي يمكن تحويل الفولتية الى مايقابلها من زمن وبالعكس ويوضح الشكل (8.10) المخطط الزمني لعملية التحويل ويتم مقارنة فولتية الادخال مع الدالة المرتفعة (Ramp) بصورة مستمرة ، وفي اللحظة التي تساوي فيها الدالة مع الفولتية الداخلة يقوم المقارن باصدار نبضة مشيراً الى حصول هذه المساواة وفتح بوابة معينة . وتستمر الدالة الى ان يقوم مقارن ثان بالتحسس بوجود دالة مرتفعة اخرى قد وصلت الى الصفر إذ يتم بذلك توليد نبضة اخرى لغلق البوابة .

تتناسب المدة الزمنية بين فتح وغلق البوابة مع الفولتية غير المعروفة . ولتقدير هذه المدة الزمنية تأخذ نبضات زمنية قصيرة معلومة ونحسب عدد حصول هذه النبضات خلال المدة الزمنية . فعند فتح البوابة ، تتدخل نبضات متولدة من مذبذب خلال البوابة الى المعداد . ويكون العدد الكلي للنبضات المحسوبة خلال المدة الزمنية قياس للفولتية الداخلة .



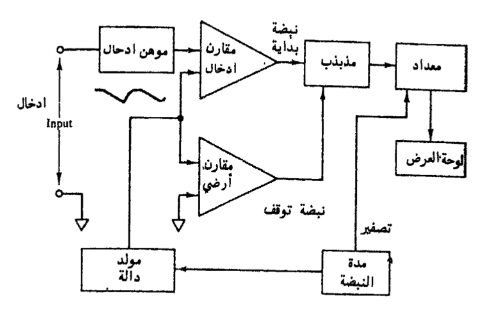
عملية تحويل الفولتية ـ الى ـ الزمن .

الشكل (8.10)

ويضبط تدرج المقياس بالاختيار المناسب لسرعة الدالة المرتفعة وكذلك لتردد المذبذب ويكون عادة بالملي فولت .. فمثلاً عند اختيار دالة مرتفعة بـ ($\frac{100V}{1\ S}$) وبتردد (100 KHz) للمذبذب ، فاذا كانت الفولتية الداخلة 1000 ملي فولت فتأخذ (0.01) ثانية من زمن التقاطع الاول (عند تساوي الدالة المرتفعة مع فولتية الادخال) الى زمن التقاطع الثاني مع الصفر . ففي خلال هذه المدة (0.01 ثانية) يدخل الى المعداد (1000) نبضة ويتم عدها . لذلك سيظهر الرقم في لوحة العرض المتصلة بالمعداد وقيمته 1000 ملي فولت .

يوضح الشكل (8.11) المخطط العام للاجزاء الرئيسية المكونة لنظام المقياس الرقمي للفولتية نوع انحدار الفولتية الى الزمن . وقد سلطت الفولتية المراد قياسها الى مدخل المقارن ، فعند تساوي الدالة الداخلية مع هذه الفولتية يقوم المقارن بتوليد نبضة البداية التي تسمح بمرور نبضات المذبذب الى المعداد ، وتتولد نبضة الايقاف بالمقارن الارضي ground comparator عندما تصل الدالة الى الصفر فولت . فعند هذه اللحظة يتوقف مرور النبضات . وتنتقل محتويات المعداد الى لوحة الاظهار المرئية لنتمكن من قراءة مقدار القراءة (الفولتية) . وعند نهاية المدة الزمنية يصفر المعداد ويتم توليد دالة خطية اخرى وتبدأ دورة القياس مرة ثانية .

تعتمد دقة هذا النوع من الانظمة على درجة خطية الدالة وكذلك على حساسية المقارن وربما تصل دقة هذه الانظمة بحدود 0.01 بالمائة من التدرج الكامل ، وتكون سرعة القياس عالية لاتتجاوز اجزاء الثانية .



الشكل (8.11) مخطط عام لجهازمقياس الفولتية نوع التحويل الفولتي ـ الزمني .

اما مساويء هذه الطريقة فهي تأثيرها بالتشويش اذ قد يؤدي ذلك الى تشغيل البوابة في وقت غير صحيح مما ينتج عنها قراءة خاطئة .

2 ـ التوازن بالشحنة :

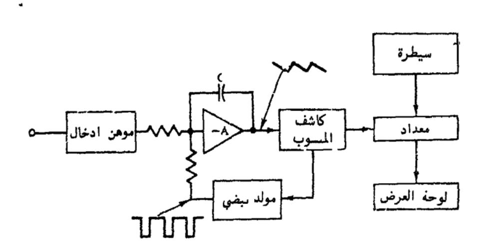
تستند هذه الطريقة بصورة اساسية على استخدام زوج من الترانز ستورات تربط بصورة تفاضلية تستخدم لشحن متسعة بتيار يتناسب مع فولتية الـ **dc** غير المعلومة ثم تقوم المتسعة بتفريغ شحنتها بكميات صغيرة ومتعددة S_q + و S_q ـ ويتم حساب عدد وحدات التفريغ بوساطة معداد سريع وخزن العدد الكلي لـ S_q + والعدد الكلي لـ S_q − ويكون الصفر في المنتصف عادة وتتناسب النتيجة مع الفرق بين عدد كل من S_q + و S_q − تكون هذه الطريقة ذات اتجاهين اي يمكن قراءة الفولتية دون الاهتمام بقطبيتها ، كما وتتميز بتحسين الخطية ، وسرعة القياس ، وذات حساسية عالية فضلاً عن عدم تأثرها بالتشويش الذي قد يرافق عملية القياس .

تتوفر دائرة المقياس الرقمي للفولتية من هذا النوع في الوقت الحاضر بشكل شريحة سليكونية مفردة (**Ferranti ZN 450** مثلاً) . ولها تطبيقات متعددة

فضلاً عن استعمالها في قياس الكميات الكهربائية سواءً كانت ac ام dc ، اذ يمكن ربطها مباشرة بمغيرات الطاقة او الاشارة (مثل نوع الاقتران الحراري وسلكي الشد strain gages وقياس الحرارة المقاومي) .

3 ـ التحويل من فولتية الى تردد :

ويطلق على النوع الثالث من المقاييس الرقمية للفولتية هذه بنوع التكامل او النوع المعتمد في عمله على تحويل الفولتية الداخلة الى مايقابلها من تردد . يكون عمل هذا النوع كما هو موضح في الشكل (8.12) . تسبب الفولتية الموجبة عند الادخال دالة تتجه الى الاسفل (السالب) عند خروج المقارن . وعند وصول الدالة الى مستوى فولتية محددة يتم قدح الكاشف detector الذي يقوم بدوره بقدح مولد النبضات . اذ يولد هذا نبضات مستطيلة وباتساع وعرض معينين تكفيان لسحب شحنة كافية من المتسعة C وذلك لجعل دائرة ادخال المكامل تعود الى وضعها عند نقطة البداية وبذلك تبدأ دورة جديدة .



الشكل (8.12) لمقياس فولتية نوع المتكامل

يتناسب ميل الدالة مع فولتية الدخل ، اذ ينتج عند الفولتية العالية دالة بميل أكبر ، مما يجعل المدة الزمنية أقصر للدالة . ويتبع ذلك أن تكون سرعة اعادة النبضات او التردد اعلى . وما دام تردد النبضات مناسباً مع فولتية الدخل ، فيمكن حساب النبضات لمدة زمنية معينة للحصول على قياس رقمي للدخل .

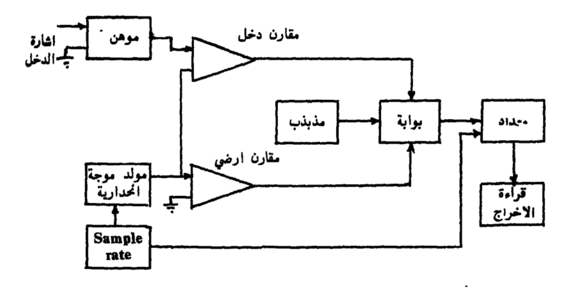
تكون دقة المقياس ذي النوع التكاملي والمغير الرقمي ـ الى ـ التناظري معتمدة بصورة اساسية على استقرارية الكاشف الاتشاعي والمضخم والمكثف. ويمكن للمقاييس التي تعتمد في عملها على التقنية التكاملية اعادة قراءة الدخل خمسين مرة في الثانية وبدقة تحويل عالية تتجاوز 0.01 بالمائة للتدرج الكامل.

ومن الفوائد الرئيسة للمقياس التكاملي للفولتية قابليتها على تكامل الدخل خلال المدة الزمنية المحددة وتمثل قراءة الخرج قيمة معدل فولتية الدخل.

4 ـ نوع الانحدار التدريجي : Stair Case-ramp type

تولد انظمة المغير نوع الانحدار التدريجي فولتية تدريجية مضبوطة وتعتمد تدرجاتها على رقم آخر مرتبة في القياس.

يوضح الشكل (8.13) الفكرة الاساسية لهذه الطريقة ، فعند بداية القياس تقوم نبضة البداية في فتح بوابة وتسمح بذلك دخول نبضات الى معدات ويتم عدها ، ويربط الى خرج المعداد مغير رقمي الى تناظري ، ويعتمد مستوى فولتية خرجة على الدخل الرقمي . فكلما تدخل نبضة الى العداد ، يضاف واحد الى الرقم الاقل مرتبة ، وتبعاً لذلك يزداد خرج المغير الرقمي الى التناظري بمقدار تدرج واحد (خطوة) في الدالة المتدرجة.



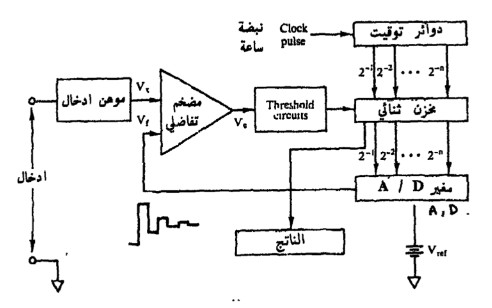
الشكل (8.13) مخطط عام لمقياس فولتية نوع ـ الانحدار التدريجي.

تقارن فولتية الدخل عادة مع دالة انحدار متولدة في داخل الجهاز ، وعند الوصول الى نقطة تقاطع بين الفولتيتين ، يتوقف المعداد وتنتقل محتوياته الى جهاز خرج مرئي اذ تتناسب محتويات المعداد مع فولتية الدخل .

ان اداء مقياس الفولتية نوع ـ دالة الانحدار التدرجي يكون شبيهاً الى حد كبير بمقياس الفولتية نوع (الفولتية ـ الى الزمن) وتعتمد دقة الجهاز على دقة عملية التحويل لمغير الرقمي الى التناظري واستقرارية فولتية المرجع الداخلية .

5 ـ التقريب المتراكم : Successive-approximation

يحوي مقياس الفولتية الالكتروني نوع التقريب المتراكم على مغير رقمي ـ الى ـ تناظري ذي تغذية عكسية وبشكل توازي ، ويعتمد عمله على اجراء مقارنات متراكمة وبعدد n بين فولتية الدخل V_x والفولتية العكسية V_f من خرج المغير الرقمي ـ الى ـ التناظري .
ويمثل الرقم n عدد الارقام في العدد الثنائي الذي يحفظ بالقيمة غير المعلومة يوضح الشكل (8.14) مخططاً مبسطاً لمقياس الفولتية الرقمي نوع التقريب المتراكم .



الشكل (8.14) مخطط عام لمقياس فولتية نوع -1 التقريب المتراكم

وفيما يلي مثال وهو خير وسيلة لشرح عمل النظام .
افرض أن قياس فولتية له مرجع اساس للفولتية $V_{ref} = 10$ فولت . وإن فولتية الدخل $V_x = 3.4$ فولت والتي سيتم تحويلها الى رقم بنظام عشري وبخطأ ± 0.2 فولت . ومن الضروري في هذه الحالة استخدام مغير ذي 6- أرقام ثنائية لجعل عملية التحويل بحدود معينة . وسيحتفظ الرقم الثنائي السادس بفولتية التغذية العكسية V_f وبتدرج 2^{-6} او $\frac{1}{64}$ من فولتية المرجع V_{ref} او 0.156 فولت تقريباً وتجري العملية كما يلي :

1 ـ خلال المدة الزمنية الاولى ، يضبط الرقم الثنائي الاعلى مرتبة 2^{-1} بمقدار منطقي يساوي واحد ONE اي يكون $V_f = V_{ref} \times 0.5 = 5$ فولت . ثم يضخم الفرق $(V_x - V_f)$ وتكون فولتية الخطأ V_e سالبة . ثم يجُعل الرقم الثنائي الاكبر مرتبة بمقدار ZERO منطقي .
2 ـ تجُعل المرتبة الاعلى مرتبة التالية (2^{-2}) بمنطق الواحد مما يؤدي الى جعل $V_f = (\text{صفر} + \frac{1}{4}) \times V_{ref} = 2.5$ فولت وذلك خلال المدة الزمنية الثانية . تكون V_e موجبة ، اذن يبقى الرقم الثاني (2^{-2}) بالمنطق واحد .
3 ـ يُضبط الرقم الثاني (2^{-3}) الى الواحد المنطقي وتكون V_f بذلك $V_f = (0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}) V_{ref} = 3.75$ فولت
V_e تكون سالبة اذن يضبط الرقم الثنائي (2^{-3}) بالمنطق الصفري .
4 ـ يضبط الرقم (2^{-4}) بالمنطق الواحد . اذن $V_f = (0 + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{16}) = 3.125$ فولت . Vc موجبة اذن 2^{-4} تبقى بالمنطق واحد
5 ـ يضبط الرقم (2^{-5}) بالمنطق واحد $V_f = 3.4371$ فولت Ve سالبة اذن 2^{-5} يغيير الى المنطق صفر .
6 ـ
يضبط الرقم (2^{-6}) بالمنطق واحد و $V_f = 3.281$ فولت ، Vc موجبة اذن يبقى الرقم الثنائي (2^{-6}) بالمنطق واحد .

اذ نحصل على الناتج في وحدة الخزن الثنائية ومقداره 010101 او 3.281 بما يعادله بالنظام العشري . وتعتمد دقة هذه الطريقة على استقرارية فولتية المرجع ودقة المغير الرقمي ـ الى التناظري . وكلما ازداد عدد الارقام الثنائية كلما توصلنا الى دقة أعلى أي يمكن الحصول بوساطة مقياس الفولتية ذي مغيرات 12- رقم ثنائي وباستعمال طريقة

التقريب المتراكم على دقة ± 0.05 بالمائة من التدرج الكامل ، وبسرعة تصل الى عدد من الاف القراءات في الثانية الواحدة .

8.6 مواصفات مقاييس الفولتية (الرقمية والتناظرية)

توضع المواصفات العامة للاجهزة لغرض تحديد النوعية وحجم وميزات وقابلية الجهاز المطلوب . ويلاحظ ان مواصفات الجهاز تتغير من حيث سهولة او تعقيد الجهاز وكلفته فمثلاً ربما يحتوي مقياس فولتية تناظري رخيص الكلفة مواصفات للدقة في حدود ± 1 بالمائة من التدرج الكلي وفي أي تدرج كان ، وذلك في درجات حرارية تتراوح بين 10 الى 40 درجة مئوية . وفي جانب آخر ربما يعطي جهاز ذو اداء جيد ومعقد التركيب وغالي الثمن مثل مقياس الفولتية التفاضلي ، دقة عالية تصل الى اقل من ± 0.005 بالمائة وفي درجة حرارية 23 ± 1 درجة مئوية ، وفضلاً عن الدقة يجب الانتباه الى الاستقرارية وعامل الحرارة .

وفي هذه الفقرة نحاول تعريف بعض من المواصفات العامة وما يتعلق بها بالنسبة بمقياس الفولتية الالكتروني .

يوضح الجدول (8.1) قائمة بعدد من الميزات التي يتصف بها كل نوع من اجهزة قياس الفولتية المذكورة في هذا الفصل ويجب ذكر هذه المواصفات من قبل الشركة الصانعة للجهاز .

أ ـ المدى :

نعني بمواصفات المدى ، مدى اعلى فولتية يمكن قياسها في تدرج معين والتي تكون ضمن تحمل المقياس . فمثلاً يكون هناك مواصفات لمدى مقياس فولتية وعددها 8 مديات تغطي 100 ملي فولت الى 1000 فولت وهناك اجهزة لها قابلية معينة في قراءة الفولتيات التي تتجاوز الحد الاعلى للمدى أو المجال بنسبة مئوية معينة من المقياس الكامل المختار مثل قراءة 1.1 فولت في مدى 1 فولت .

ب ـ الحساسية :

تعرف الحساسية بإنها أقل مستوى للفولتية الذي يتمكن مقياس الفولتية من تحسسه ويوصف عادة بمستوى الفولتية المؤثر على الجهاز في التدرجات السفلى. فمثلاً يقال حساسية مقياس معين هي **0.1** مايكروفولت .

جـ ـ درجة الوضوح/ **Resolution**

وهي درجة تغير المقياس عند تغيير فولتية الدخل **dc** بقيمة صغيرة . ويمكن وصف هذه الصفة بطرق متعددة وبالاعتماد على نوع مقياس الفولتية نفسه . فدرجة الوضوح في مقياس فولتية تناظري **dc** هي مقدار الفولتية التي تغير المؤشر تقسيماً واحداً في المقياس الاصغر (مايكروفولت مثلاً) .

وتعبر درجة الوضوح في مقاييس الفولتية التفاضلية **dc** ، بالنسبة المئوية من قراءة المقياس الكامل . فمثلاً تذكر درجة الوضوح بالاتي :

0.01 – ± بالمائة من اعلى قراءة للمقياس في درجة معينة .

اما درجة الوضوح في مقاييس الفولتية الرقمية فيعبر عنها عادة بعدد الارقام المتوفرة في لوحة العرض .

د ـ الدقة **Accuracy**

الدقة هي تعبير عن اكبر خطأ مسموح به ويعبر عنه بنسبة مئوية أو بقيمة مطلقة . وهناك عدد من الطرق في تعريف الدقة نذكر قسماً منها بالاتي :

1ـ $\frac{\text{(قيمة التأشير ـ القيمة الحقيقية)} \times 100}{\text{القيمة الحقيقية}}$ ⩾ النسبة المئوية للقراءة

2 ـ نسبة مئوية من اعلى قراءة في التدرج $= \frac{100 \times \text{(قيمة القراءة ـ القيمة الحقيقية)}}{\text{قيمة أعلى قراءة في التدرج}}$

3 ـ عدد من اجزاء اقل تدرج > (قيمة القراءة ـ القيمة الحقيقية) .
4 ـ عدد الفولتات (X) ⩾ (قيمة القراءة ـ القيمة الحقيقية)

نوع مقياس ـ DC	التدريج	الدقة ٪	مقاومة الدخل :	سرعة القراءة	درجة الوضوح
مقياس دي أرسنفال	50 mV to 5,000 V	≧1	100 Ω to 1 MΩ/V	.....	0 5 mV
مقياس dc ومضخم	0.1 to 1,000 V	≧1	>100 kΩ	.....	1.0 mV
مضخم قاطع	3 μV to 1,000 V	≧1	>100 kΩ	.....	0.1 μV
جهاد	1 mV to 1,000 V	≧0.005	$>10^{10}$ Ω	....	1 ppm of range
موجة زمن ـ الى فولتية	0.1 to 1,000 V	≧0 05	>10 MΩ	5	10 μV
موجة تدرجية	0.1 to 1,000 V	≧0 02	>10 MΩ	100	1 μV
التقريب المتراكم	0.1 to 1,000 V	≧0 02	>10 MΩ	1,000	1 μV
توازن مستمر	0.1 to 1,000 V	≧0 02	>10 MΩ	100	1 μV
تكامل	0.1 to 1,000 V	≧0.005	>10 MΩ	50	1 ppm of range

يعتمد استخدام مواصفات الدقة هذه على نوع وتعقيد مقياس الفولتية dc ويغض النظر عن طريقة تعريف الدقة او وضعها فالذي يهمنا هو معرفة مقدار الخطأ في القراءة (كنسبة مئوية مثلاً).

هـ ـ الاستقرارية **stability**

الاستقرارية هي مقياس لمقدرة الجهاز في الحفاظ على الدقة المحددة ولمدة زمنية معينة. ويمكن وصف الاستقرارية بجزئين.
الاستقرارية لمدة طويلة. واستقرارية الجهاز لمدة زمنية قصيرة. فمثلاً استقرارية جهاز مقياس الفولتية الرقمي (DVM) تكون في حدود عالية قد تبلغ 0.04 ± بالمائة من مقدار القراءة في التدرج ولمدة 90 يوماً. في حين تكون الاستقرارية لمدة قصيرة في حدود 0.002 ± بالمائة من القراءة ولمدة يوم. وهناك تعريف اخر لاستقرارية المدة القصيرة وهي تعبير عن التغير، في مدة زمنية معينة مثلاً 0.001 بالمائة خلال ساعة او 0.005 بالمائة خلال يوم. وتستخدم مواصفات الاستقرارية عادة في المقاييس الدقيقة مثل المقابيس الرقمية عالية الدقة.

و ـ زمن الاستجابة **Response Time**

ان زمن الاستجابة هي ميزة تصف الزمن اللازم من لحظة تسليط الاشارة لاعطاء قراءة تدرج كامل الى لحظة استقرار الجهاز ويتضمن ذلك زمن تغيير القطبية او تغيير التدرج وقد لا تذكر هذه المواصفات في الاجهزة الاعتيادية الا انها مهمة في الاجهزة السريعة او الذاتية (في تغير القطبية او التدرج).

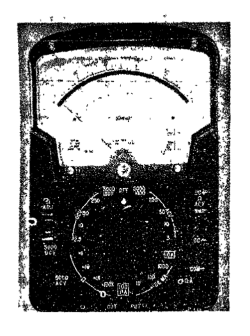
ز ـ ممانعة الدخل **Input Impedance**

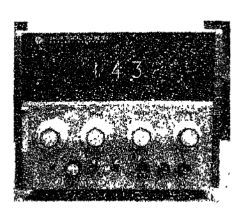
تكون هذه الصفة او المقدار مهمة جداً في اجهزة القياس فهي تمثل مقدار الحمل او الممانعة المركبة **Complex load** لمقياس معين والتي تؤثر على الدائرة المراد قياسها. ويذكر عادة مقدار المقاومة والمتسعة التي يجب ذكرهما وخاصة في الترددات العالية نسبياً.

8.7 المقاييس الالكترونية متعددة الاغراض :

تطلق هذه الصفة على الجهاز الذي يمكن استخدامه بدلاً من عدد من الاجهزة اما بالنسبة للاجهزة الالكترونية وخاصة في الصناعة فتستخدم هذه الكلمة على المقاييس التى يمكن استخدامها في الحصول على اكثر من قيمة من القيم الاتية :

فولتية dc . فولتية ac . مقاومة dc . تيار dc . . . . .
وسنحاول في هذه الفقرة الاقتصار على النوع الشائع الاستخدام فقط . يمكن عرض النتائج عادة بوساطة مؤشر ميكانيكي في المقاييس التناظرية او اعطائها بشكل ارقام على لوحة عرض كما فى الاجهزة الرقمية . ويوضح الشكل 8.15 نموذجاً لهذين النوعين .





الشكل (8.15) نموذجين من اجهزة القياس متعدده الاغراض

8.8 قياسات الاجهزة المتعددة الاغراض :

1 ـ قياس فولتية الـ dc :

وهي من التطبيقات الاساسية للجهاز متعدد الاغراض . ويتم تحويل بقية القياس عادة الى فولتية dc تتناسب مع اشارة الدخل سواء كانت فولتية أو تياراً ..... ثم قياس فولتية dc بمقياس اعتيادي مثل مقياس الحديدة المتحركة وبهذا يمكن استخدام المقياس في حالة ac او dc .

يمكن قياس فولتية dc بعدد من الطرق منها .

أ ـ استخدام مقياس ارسنفال الاعتيادي والرخيص الكلفة ، بعد اضافة مقاومات مختلفة القيم للحصول على تدرجات مختلفة للفولتيات . وربما يزود المقياس بضخم الكتروني للسيطرة على حركة المقياس .

وتستخدم المقاييس الرقمية في قياسات فولتية الـ dc في التطبيقات الدقيقة ويستخدم النوعان في الاجهزة الرقمية وهما :

أ ـ نوع الانحدار الفولت ـ الزمن (Voltag-to-time Ramp)
ب ـ الانحدار التدرجي (Staire case-Ramp)

وقد يكون لهذين النوعين حدوداً معينة للخطأ تعتمد على التشويش وبعض العوامل الاخرى كما ذكرت في فقرات سابقة .

2 ـ قياس فولتية الـ ac :

وتكوّن هذه الكميات المهمة وهي قياس (جـ م ت) للموجة . وتتم عملية القياس بتحويل او توليد موجة فولتية dc تتناسب مع (جـ م ت) الموجة ومن ثم قياس فولتية dc . ويستخدم لهذا الغرض مغير ac يقوم بتغيير ac الى dc .

هناك عدد من انواع المغيرات بصورة عامة وهي تعتمد على طبيعة استجابتها للموجة الداخلة ومن هذه الانواع :

أ ـ اجهزة تستجيب لـ جـ م ت الموجة
ب ـ اجهزة تستجيب لمعدل الموجة
جـ ـ اجهزة تستجيب لذروة الموجة

وتعتمد دقة الجهاز بصورة عامة على كفاءة المغير وسرعة استجابته ويكون قياس الكمية الاولى (جـ م ت) دقيقاً ويستخدم في ذلك عناصر الاقتران الحراري من اجل الحصول على تأثير للموجة بشكل حراري . في حين تكون قياسات الذروة والمعدل غير دقيقة في الموجات الكهربائية عدا الموجة الجيبية . وقد ذكرت مواصفات ودوائر قسم من هذه الاجهزة في فقرات سابقة من هذا الفصل .

استخدامات المقياس متعدد الاغراض :

- يجب ربط الفولتية المراد قياسها الى مقياس الفولتية بتوصيلات محكمة التثبيت وأن تكون صغيرة المقاومة قدر الامكان وذلك من اجل خفض الخطأ والناتج من مرور تيار في الاسلاك الى أقل مايمكن .

وهناك خطأ آخر قد ينتج من التوصيلات الداخلة الى الجهاز وذلك بسبب الاقتران الكهرومغناطيسي او الكهروستاتيك مع اشارات غير مرغوب بها والتي تدخل بوساطة هذه التوصيلات الى جهاز القياس .

8.9 المقاييس الالكترونية للقدرة :

تختلف المقاييس الالكترونية المستخدمة لقياس معدل القدرة الكهربائية في تقنياتها في طريقة الحصول على موجات التيار والفولتية لمصدر قدرة معين والتي ينتج عنها سلسلة من القدرة الآنية ومن ثم الحصول على معدل القدرة . فمنها ما يحول موجتي التيار الى مجموعة من النبضات تتناسب مع مقدار كل منها في لحظة معينة ومن ثم تضرب ببعضها او يحسب المعدل او غير ذلك وغالباً ما تستخدم هذه الفكرة لتزويد معالج دقيق او حاسبة الكترونية . وهناك نوع آخر يعتمد على تجزئة الموجات الى مدد زمنية متساوية ومن ثم ضرب هذه الاجزاء ببعض والحصول على القدرة .

فمثلاً تستخدم مقاييس القدرة نوع (NPL) الحديثة دائرة رقمية تعتمد على فكرة (**Sample and hold**) وتتلخص في اخذ الفولتية V_x والتيار i_x الآنيتين ومن ثم استخدام دائرة رقمية اخرى لعملية الضرب ومن ثم جمع حاصل الضرب (i_x V_x) وايجاد المعدل بعد ذلك .

وتكون دقة هذا الجهاز في حدود $\pm$ 0.03% بصورة عامة وقد تصل الى $\pm$ 0.01% في الترددات الواقعة بين 50 الى 400 هرتز .

اما الطريقة الثانية وهي عملية ضرب الاجزاء الزمنية فتعتمد على تكوين موجات مستطيلة بشكل نبضات ذات ارتفاع وعرض يتناسبان مع الفولتية الآنية V_x والتيار i_x على التوالي ويكون معدل المساحة $i_x V_x$ متناسباً مع القدرة . وتصل دقة هذا النوع من مقاييس القدرة الى $\pm$0.05% في الترددات 50 الى 500 هرتز والى قدرة تصل 6 كيلوواط تقريباً .
ويتوفر في الوقت الحاضر عدد كبير من مقاييس القدرة التي تعتمد بفكرة عملها على مقدار القدرة والتردد التي تعمل فيها فمنها ما تستخدم لقياس قدرة dc والاخرى لقياس ترددات واطئة وثالثة لترددات عالية وهكذا .

8.10 المقاييس الالكترونية للطاقة الكهربائية :

تتوفر مقاييس الطاقة الالكترونية في الوقت الحاضر والتي تنافس المقاييس الميكانيكية الاعتيادية المتوفرة في البيوت والمحلات . اذ تتكون هذه الانواع من اجزاء شبه الموصلات ولها مميزات في دقة قراءتها ورخص كلفتها فضلا عن الاعتمادية او العول العاليين مقارنة مع المقاييس الاعتيادية . كما يمكن اضافة عوامل اخرى لاعطاء معلومات مفيدة للمستهلك مثل مجموعة القراءات خلال فترة معينة ومعدلها وسعرها وغير ذلك . وغالباً ما تحوي مثل هذه المقاييس على معالجات دقيقة تبرمج حسب ما يتطلب منها وتخزن المعلومات لفترات طويلة في ذاكرات لا تتأثر محتوياتها بانقطاع المصدر الرئيس للقدرة . كما تزود عادة بلوحة عرض ضوئية لاعطاء القراءات بشكل ارقام مرتبة .
ولا يزال مثل هذه الاجهزة المفيدة غير متوفرة في قطرنا بصورة تجارية حتى الآن .

8.11 المذبذبات الالكترونية :

تطلق كلمة المذبذبات عادة على الجهاز او الدائرة التي تولد موجة جيبية عند الخرج ويعد المذبذب من اقدم الاجهزة المستخدمة في عملية المقياس والتصميم والفحص . لذلك نرى تسميات مختلفة بهذا الجهاز مثل مذبذب الفحص ، او مولد

اشارة او مولد الدالة وغيرها من التسميات وعلى الرغم من فائدة هذه الاسماء الا أنها لا تعطي المواصفات الهندسية الكاملة للجهاز ولذلك يجب الرجوع الى مواصفات الشركة في معرفة نوع الجهاز وقابليته في الاستعمال لغرض معين.

ونحاول في الفقرات القادمة شرح مذبذب الموجة الجيبية وانواعها والتي تولد موجات بترددات عالية تصل الى 100 ميكاهرتز.

8.11.1 اصناف المذبذب :

يمكن تصنيف المذبذبات بصورة أساسية بعدد من الطرائق كما هو موضح :

نوع المذبذب	مجال التردد
١ . مذبذب بتغذية عكسية	ترددات مسموعة 20 هرتز ـ 20 كيلوهرتز
٢ . مذبذب بتغذية عكسية RC	ترددات راديوية 20 كيلو ـ 30 ميكاهرتز
٣ . مذبذب بتغذية عكسية LC	ترددات مرئية dc الى 5 ميكاهرتز
٤ . مذبذب الكوارتز	ترددات عالية 1.5 الى 30 ميكاهرتز
٥ . مذبذب المقاومة السالبة	ترددات عالية جداً 30-300 ميكاهرتز

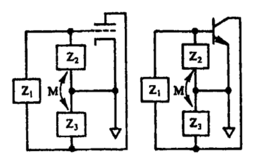
8.11.2 مذبذبات التغذية العكسية :

تقسم مذبذبات التغذية العكسية الى ثلاثة اصناف وتعتمد في ذلك على دائرة التغذية العكسية وهي LC و RC وبلورة الكوارتز.

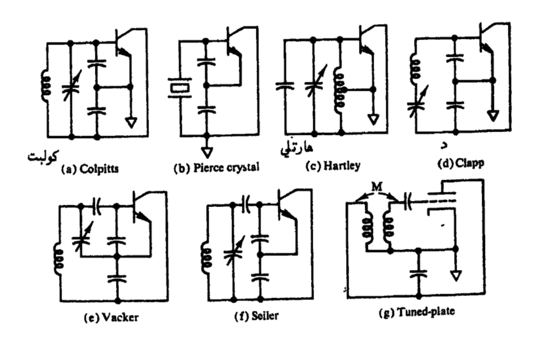
أ ـ مذبذبات LC :

وهو من أشهر وأقدم أنواع المذبذبات المستخدمة ومن أنواعها كولبت Colpitts وهارتلي Hartly ، ويوضح الشكل (8.16) مخططات عامة لفكرة استخدام LC . ويتم حساب قيم الملفات والمتسعات حسب نوع المدبذب والتردد المطلوب ويوضح الشكل (8.17) عدداً من دوائر مذبذب LC . وهناك عدد متشابه من الدوائر مثل دوائر Clapp و Seiler و Vacker وهي تماثل بصورة

عامة دائرة كولبت ، قد أجريت عليها بعض التطويرات من أجل الحصول على مجال أكبر للرنين أو للحصول على استقرارية أفضل للتردد واتساع الموجة.



الشكل (8.16) مخططين عامين للمذبذب نوع
(أ) الصمام
(ب) الترانزستور



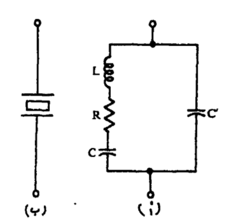
الشكل (8.17) نماذج من دوائر المذبذب LC

ويمكن تحديد تردد المذبذب نوع LC بالمعادلة الآتية :

$$fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad \text{------- (8.1)}$$

إذ تمثل L و C في المعادلة (8.1) الحاثة الكلية والمتسعة الكلية على التوالي ويمكن تغيير قيمة التردد الى ضعف أو أكثر في كثير من المذبذبات قبل أن يبدأ تأثير ذلك على اتساع الموجة ويدعى المذبذب بذلك بمذبذب التردد المتغير.

ويمكن استخدام بلورة الكوارتز للاستعاضة عن دائرة LC كما هو موضح في الشكل (8.18) إذ يشير الى الدائرة الكهربائية المكافئة لبلورة الكوارتز. والفرق الأساس بين الدائرة المكافئة للبلورة مع دائرة LC هو أن الاولى لها مجال رنيني ضيق جداً وذات أستقرارية تردد عالية جداً.

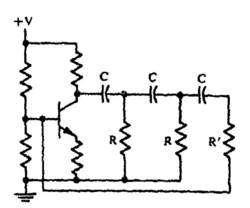


الشكل (8.18) بلورة الكوارتز
أ) الدائرة الكهربائية المكافئة
ب) رمز البلورة

ب ـ مذبذبات RC :

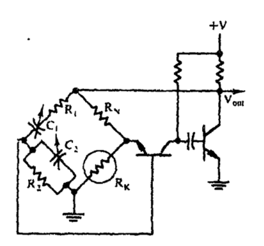
يكون لهذا النوع من المذبذبات شكلين أساسيين هما :

١ . مذبذب الازاحة الطورية phase-shift osc. كما هو موضح في الشكل (8.19) .



الشكل (8.19) مذبذب الازاحة الطورية RC

٢ . مذبذب قنطرة وين .Wien-bridge osc كما هو موضح في الشكل (8.20) .

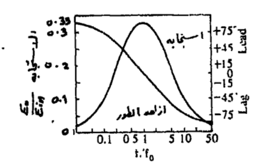


الشكل (8.20) مذبذب قنطرة وين (.Wien-bridge)

يعتمد النوع الاول على الازاحة الطورية الناتجة في دائرة RC والتي تكون مناسبة لتكوين ازاحة طورية بمقدار 180 درجة بين ادخال واخراج دائرة RC وتتكون من ثلاث مراحل ويمكن الحصول من هذا المذبذب على موجات أو اشارات بتردد منخفض يصل الى عدد قليل من الدورات (هرتز) والى حد عدد من مئات الكيلوهرتز وذلك بتغير قيمة R أو C أو كلتيهما ومن مساوىء هذا النوع من المذبذبات أن اتساع الموجة يتغير عند تغيير التردد بوساطة R أو C .

يوضح الشكل (8.21) علاقة تغيير الاتساع والازاحة الطورية نسبة للفولتية الدخل . وتوضح هذه المنحنيات أن إستجابة الاتساع العلوي يكون عندما تبلغ الازاحة الطورية خلال الدائرة صفراً . ويمكن كتابة تردد الرنين في هذه الدائرة fo بالعلاقة الاتية :

$$fo = \frac{1}{2\pi \ RC}$$



الشكل (8.21) الاستجابة والازاحة الطورية بدلالة التغير في التردد

ولذلك فهو يستخدم للحصول على تردد ثابت أو بتغيير بسيط . وقد طورت هذه الفكرة في النوع الثاني المسمى بمذبذب قنطرة وين إذ تم التغلب على مشكلة تغيير الاتساع ولذلك فقد أصبح أكثر انتشاراً من النوع الأول وخاصة في الاجهزة العملية التي تحتاج الى أعطاء ترددات مختلفة .

وذلك عندما تكون $R = R_1 = R_1$ و $C = C_2 = C_1$.
تتغير قيمة التردد في مثل هذه الانواع من الذبذبات وذلك بتغير درجة الحرارة .
أما عند زيادة قيمة الاتساع فينتج عن ذلك زيادة R بتأثير الحرارة المتولدة من زيادة التيار فيها . أي تزداد قيمة التغذية العكسية السالبة مما يؤدي بدوره الى خفض كسب المضخم والحفاظ على الاتساع بقيمته الاعتيادية .

8.11.3 المواصفات العامة للاداء :

هناك خمس خواص أساسية للمذبذب بصورة عامة وهي :

1 ـ المجال الترددي
2 ـ استقرارية التردد
3 ـ القدرة او الاتساع عند الخرج
4 ـ استقرارية الاتساع عند الخرج
5 ـ التشويش .

كما توجد خواص اخرى للمذبذب قد تكون مهمة وأساسية في بعض التطبيقات وهي :

1 ـ الدقة والتوهين في دائرة الخرج
2 ـ توازن الخرج
3 ـ الاستجابة الترددية **flatness**
4 ـ دقة التردد
5 ـ التضمين **Modulation**
6 ـ أداة قياس التردد **Monitor**
7 ـ السيطرة الطورية ـ التزامن
8 ـ نوع مفاتيح التغيير (التردد والاتساع)

وقد لاتحتاج الى شرح هذه الانواع اذ يمكن الرجوع الى المصادر الخاصة بالدوائر والاجهزة الالكترونية للحصول على تفصيلات أكثر .

8.11.4 مصادر الخطأ في المذبذبات :

أ ـ المواءمة بين الممانعات والمقاومات :

اصبح استخدام المقاومتين 50 أوم و 600 اوم شائعاً في دوائر اخراج اجهزة المذبذب . لذلك يجب مواءمة هذه الممانعة أو المقاومة مع الممانعة أو المقاومة الخارجية للدائرة المربوطة الى المذبذب، فمن المعروف أننا نحصل على القدرة العليا في حالة $R_L = R_s$ وقد يكون هذا غير ملائم في بعض الاوقات وخاصة

عند الاهتمام بالفولتية او التيار فقط (دون الاهتمام للقدرة) . ولتعريف قدرة الخرج العليا يمكن كتابة الآتي :

$$P_{out} = V_{out}\ I_{out}$$

$$V_{out} = \frac{V_{max}\ R_L}{R_L + R_s}$$

$$I_{out} = \frac{V_{max}}{R_L + R_s}$$

$$P_{out} = \frac{V_{max}^2\ R_L}{(R_L + R_2)^2}$$

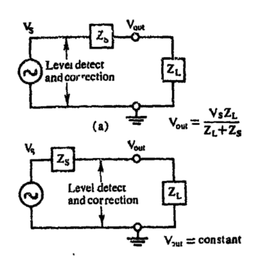
ويمكن ملاحظة قيمة القدرة عند التعويض بقيم حسابية لكل من R_L وR_s وV_{max} ولا نحصل على القيمة العليا الاّ عند الشرط السابق $R_L = R_s$.

وتكون مقاومة الاسلاك او الكيبل الموصل بين الاجهزة مهمة جداً في عملية المواءمة او التوفيق بين الممانعات فاذا كان خرج المذبذب ذا مقاومة 50 أوم فيكون عمل الجهاز المثالي عند ربطه بمقاومة 50 اوم كذلك والا ظهر تأثير المتسعة والمفاعلة للكيبل وخاصة في الترددات العليا والتي تؤثر على قيمة القدرة الخارجة من المذبذب .

ب ـ مستوى الخرج :

من المناسب جداً في معظم القياسات الحصول على اتساع ثابت لموجة خرج المذبذب دون التأثر بتغيير التردد . يوضح الشكل (8.22) طريقتان تستخدمان في عملية تصحيح مستوى الخرج . اذ ينتج من الاولى فولتية ثابتة عبر ممانعة الحمل . وتعطى الطريقة الثانية V_{out} فولتية ثابتة دون الاهتمام لـ Z_s او Z_L

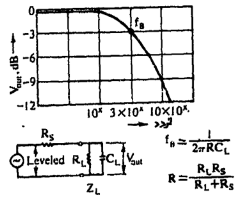
او التردد وتكون هذه الطريقة اكثر ملاءمة في الاستخدام اذ لا نحتاج الى عملية معادلة الحمل بدوائر اخرى (Load compensation) .



الشكل (8.22) تصحيح مستوى الخرج .

جـ ـ تغيير ممانعة الخرج :

إن عملية تغيير اتساع الموجة يؤدي لسوء الحظ الى تغيير في ممانعة خرج المذبذب وذلك عند تغيير تدرج الموهن للحصول على فولتية معينة . وهذا يجعل الحصول على توفيق بين الممانعات أكثر صعوبة في الحصول عليه . يوضح الشكل (8.23) نموذجاً لمعالجة هذه المشكلة .



الشكل (8.23) تغيير فولتية الخرج بدلالة التردد .

لاحظ أن التدرج العلوي لاشارة الخرج تكون R_s = صفراً في حين يدخل الموهن في طريق الاشارة لاعطاء مقاومة 50 اوم عند الخرج في التدرجات الاخرى كافة فاذا كان الحمل 50 اوماً وكذلك مقاومة الكيبل تساوي 50 اوم فإن عملية المواءمة تكون مثالية .

تظهر هذه المشكلة في مذبذب LC بصورة أوضح منها في حالة RC لان الاولى لها طيف ترددي أعلى من الثانية . ولذلك فمن الافضل دائماً فحص الممانعات وطريقة مواءمتها مع بعض في مذبذب الترددات العالية والتي تحوي على موهن .

8.12 الاجهزة الالكترونية لتحليل الموجات :

تعد مجموعة الاجهزة الالكترونية لتحليل الموجات من المجموعات المهمة المستخدمة في تحليل النتائج والموجات الصادرة من بعض اجهزة القياس او الحاسبات . وتعمل هذه الاجهزة في مدى ترددي واسع ولها قيم معينة للقدرة والفولتية والنسب .... وغير ذلك . وهي تفيد في مجالات متعددة مثل :

أ ــ دراسة وتحليل سلوك الدوائر الالكترونية والكهربائية .
ب ــ تركيب عدد من الاشارات المختلفة للحصول على اشارات معقدة تفيد في عمليات التشفير والاتصالات .
جـ ــ معرفة الموجات الدخيلة (التشويش) المؤثرة على الموجة الرئيسة في الشبكات المختلفة .

ويلاحظ ان الاجهزة العملية المتوفرة في الوقت الحاضر في التحليل والتي سيرد ذكرها في الفقرات القادمة مثل محلل الشبكات الكهربائية ومحلل الاشارات ومحل الطيف الموجي او محلل فورير (Fourier) وكذلك الراسم الالكتروني الرقمي كلها قد اصبحت اجهزة معقدة بعض الشيء ويحوي اغلبها في الوقت الحاضر على ذاكرات لحفظ المعلومات ومعالجات دقيقة وغيرها وفيما يلي الخواص العامة لبعض هذه الاجهزة .

8.12.1 محللات الشبكات الكهربائية

يستخدم هذا الجهاز في تصميم وتراكيب الدوائر والانظمة المعقدة . يحتوي الجهاز عادة على مصدر لموجات مسح موجبة (Sweep) يقوم بتجهيز النظام المراد قياسه وذلك باستعمال توصيلات ومغيرات اشارة (Transducers) لربط ادخال واخراج النظام بالجهاز ويمكن بعد ذلك الحصول على الخواص العامة للنظام او الشبكة عند تردد معلوم والحصول كذلك على دالة التحويل **Transfer function** للاتساع والطور . وقد تعطي محللات الشبكة ذات الترددات العالية خواص الشبكة نسبة الى الفقد وعوامل الانعكاس المركبة وتأخير الاشارة في الشبكة بين لحظة الادخال والاخراج وغيرها .

وتصمم مثل هذه الاجهزة لتقوم بعمليات القياس والتحليل ذاتياً وخاصة اذا تم بناؤها والسيطرة عليها بأجهزة مبرمجة او التي تربط مباشرة الى خطوط انتاج .

8.12.2 محللات الطيف الموجي :

لا تعمل مثل هذه الاجهزة عادة كمصدر لموجة معينة فهي تستخدم لمعرفة المركبات الموجبة من ناحية القيمة والطور ضمن مجال ترددي معين وتحول مثل هذه القياسات داخل الجهاز الى معلومات رقمية تخزن في الذاكرة الرقمية وقد يتم عرضها في راسم الكتروني او يتم معالجتها للحصول على بعض القيم المحددة مسبقاً بوساطة برنامج مثل :

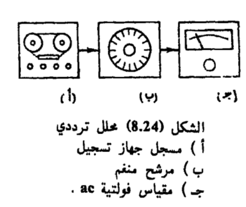
أ ـ المعدل الزمني لتكرار بعض الموجات .
ب ـ احتمالية توزيع المركبات الترددية ضمن المجال المحدد .
جـ ـ قيم مفيدة اخرى مثل معدل القدرة او (جـ م ت) للطيف وغيرها .

8.12.3 محلل فورير Fourier

تستخدم محللات فورير تقنيات الاشارات الرقمية لتزويد وسائل مشابهة لمحللات الطيف الموجي وبشكل اكثر مرونة . وتعتمد تقنيات فورير على حساب حدود سلسلة فورير باستخدام الطرق السريعة في تحديد قيمة وزاوية كل حد من هذه الحدود التي تكون احدى مركبات الموجة . وبهذه الطريقة يمكن حساب قيم

وزاويا الترددات الواطئة جداً والتي تقل في بعض الاحيان عن 1 هرتز فضلاً عن القياسات اللازمة للترددات العالية والى حد 100 كيلوهرتز مثلاً . وتطبق هذه الفكرة من الناحية العملية في مجالات مختلفة اخرى عدا الموجات الكهربائية مثل قياس وتحليل الاهتزازات والتشويش وانتقال الصوت خلال مجالات مختلفة ... الى غير ذلك .

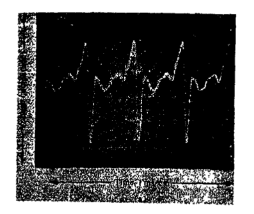
يتكون جهاز التحليل هذا من مرشح متغير الضبط ومقياس فولتية ac يستخدم لقياس الموجة الاساس والتوافقيات كما في الشكل (8.24) ، وهذا ابسط اشكال المحللات الترددية .

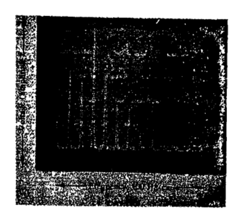


الشكل (8.24) محلل ترددي
أ) مسجل جهاز تسجيل
ب) مرشح منغم
جـ) مقياس فولتية ac .

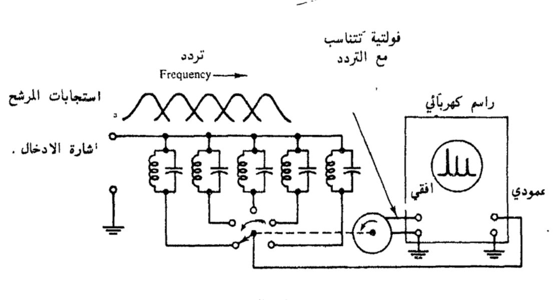
ويمكن تصنيف المحللات الى صنفين رئيسيين :
١ . محلل المجال الزمني .
٢ . محلل المجال الترددي .

ويلاحظ شكل (8.25) الناتج الخارج من المحلل في لوحة عرض الراسم الالكتروني الرقمي كما يوضح الشكل (8.26) المحلل الترددي ، المكون بصورة رئيسة من مرشح ومغير تردد الى فولتية وجهاز الراسم الالكتروني الرقمي لقياس وتوضيح الفولتية عند كل تردد .





الشكل (8.25) المجال الزمني والمجال الترددي كما هو ناتج من
أ) محلل طيفي
ب) راسم الكتروني



الشكل (8.26) محلل ترددي .

اسئلة الفصل الثامن

1) ماهي انواع مقياس الفولتية الالكتروني وماهي فوائد استخدام مثل هذه الانواع مقارنة مع المقاييس التناظرية السائدة.

2) ماهي المزايا والصفات الاساسية في اختيار مقاييس الفولتية الالكترونية عدد هذه المزايا ذاكراً امثلة رقمية بسيطة.

3) ماهي الاجزاء الرئيسة لمقياس فوليتة ـ النوع المتكامل ، وضح ذلك بمخطط كتلي عام.

4) استخدم مقياس الكتروني للفولتية ذو $3 \frac{1}{2}$ مرتبة في قياس فولتية معينة.

أ) جد درجة الوضوح **resolution** الجهاز

ب) كيف يتم عرض الفولتية **14.53** عند التدرج **10** فولت ؟

جـ) كيف تظهر قراءة الفولتية **14.53** عند استخدام التدرج **100** فولت اذا استخدم المقياس المذكور في المسألة ؟

5) اشرح بالتفصيل اجزاء وعمل مقياس الفولتية الالكتروني نوع ـ المشنه

6) كيف يتم قياس القدرة والطاقة الكترونياً . اذكر مثالاً يوضح هذه العملية في ايجاد هاتين الكميتين تناظرياً . ثم اعط فكرة عن كيفية قراءتها بصورة رقمية.

7) هناك عدد كبير من المذبذبات المستخدمة في الحصول على موجات معينة كيف يتم تصنيف هذه المذبذبات وماهي المزايا العملية لكل نوع.

8) يمكن قياس الموجات الجيبية بمقاييس اعتيادية ، كيف يمكن قياس الموجات (تيار ـ او فولتية)عند احتوائها على اكثر من تردد واحد.

9) ماهو محلل الطيف الموجي وكيف يعمل وماهي استخداماته . وضح ذلك بمخطط كتلي ذاكراً فائدة كل جزء منه.

٩

معداد التردد وقياس المدة الزمنية

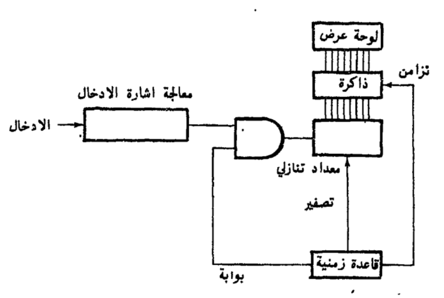
9.1 مبادىء المعداد الترددي :

تعد المقاييس القياسية للتردد والمدة الزمنية مقاييس واحدة على اختلاف وضعها في محطات الارسال والاستقبال اذ ترسل الاشارات بتردد معين وفترة زمنية معينة للموجة الواحدة الى جهة الاستقبال حيث تستقبل بالتردد والمدة نفسيها . وبذلك يمكن الربط بين الأسس الاولية للقياس بينهما بدون صعوبة تذكر . وكما نعلم ان تثبيت هذه الأسس القياسية في مختلف انحاء العالم يسهل عملية القياس ويعطي نتائج لقياسها بدقة عالية ، وباستخدام اجهزة الكترونية متطورة للحصول على قابلية عالية في استعمالها . فمثلاً نحتاج الى حزمة ترددية بمقدار 15 كيلوهرتز لنقل الصوت المسموع خلال قناة FM أي يجب تحديد قيمة هذا التردد 15 كيلوهرتز وقياسه بدقة للتمكن من تحديد الحزم الترددية خلال القناة الراديوية وبكفاءة عالية . ولذلك نلاحظ وبسبب توفر التقنية الدقيقة في القياس تحديد الحزم كل 20 كيلوهرتز في حزمة VHF (450 ميكاهرتز) ويتطلب ذلك دقة واستقرارية تردد الموجة الحاملة بمقدار 5 كليوهرتز . أي أقل من 001. بالمائة ، وهي عملية سهلة في هذا الوقت لتوفر الاجهزة الحديثة للقياس .

وعلى الرغم من وجود قيم قياسية ثابتة للتردد منذ عدة سنوات الا أن القياس الدقيق للتردد لم يكن سهلاً دائماً . إذ تطلبت عملية القياس الدقيقة للتردد الى مقاومات ترددية دقيقة والى مذبذبات مستقرة فضلاً عن تعقيد الاجهزة وصعوبة القياس واستمرت حتى ظهور دوائر المنطق والالكترون الرقمي

اعتمد المصدر (8) اساساً في هذا الفصل

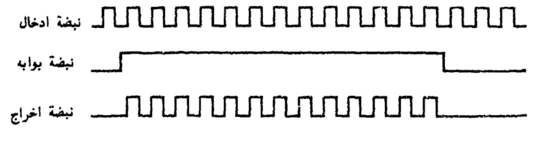
وتطور معدات التردد . يوضح الشكل (9.1) مخططاً عاماً لاجزاء معداد ترددي بسيط .



الشكل (9.1) مخطط عام لاجزاء معداد ترددي بسيط .

تقوم فكرة عمل المعداد الترددي على ادخال الاشارة (بتردد معين) الى المعداد لفترة زمنية محددة . فمثلاً اذا ادخلت اشارة ترددية الى المعداد لمدة زمنية تساوي ثانية واحدة بالضبط، فيكون عدد الدورات التي سمح لها بالدخول خلال هذه المدة الزمنية هو تردد الموجة الداخلة . ويمكن استخدام البوابة المنطقية **AND** أو **OR** لغرض تحديد المدة الزمنية وادخال موجة الاشارة . يوضح الشكل (9.2) الموجات العائدة لهذه العملية . ويوضح هذا المثال بوابة **AND** وقد سلط على أحد مداخلها نبضة صاعدة **(positive going)** لها مدة زمنية تساوي ثانية واحدة . ومادام المنطق ـ (1) مستمر لمدة ثانية واحدة عند الادخال اذن تكون مدة النبضة الخارجة هي ثانية واحدة كذلك . وتعود الى الصفر حال عودة موجة الادخال الى الصفر . ويكون من الضروري بعد ذلك حساب عدد الدورات الخارجة وعرضها لمعرفة قيمتها (أو عددها) .

اذا فتحت بوابة الادخال لمدة ثانية واحدة فان العدد الناتج من جمع الدورات يمثل معدل التردد لموجة الادخال (هرتز) اما اذا فتحت البوابة لمدة 10 ثوان مثلاً فيكون حاصل العد هو معدل التردد مقسوماً على عشرة . ومن



شكل (9.2)

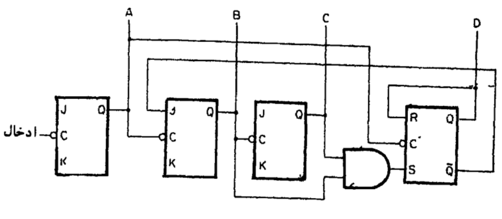
ناحيَة اخرى اذا فتحت البوابة لمدة 0.1 ثانية فحاصل العدد في هذه الحالة يمثل معدل التردد مضروباً بـ (10) ولذلك نلاحظ ان المعداد الترددي الذي يحوي على مفتاح لاختيار زمن الادخال (فتح البوابة) يكون له فارزة عشرية متغيرة .

9.2 المعدادات العارضة :

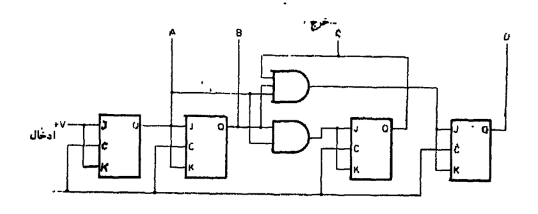
تتكون دوائر العد في الناحية العملية من معدادات الدوائر المتكاملة لذا يكون ربطها واستخدامها من الامور السهلة والمتيسرة . ومن المفيد هنا معرفة عمل هذه الدوائر المتكاملة بصورة عامة لنتمكن من استخدامها بالطريقة المثلى .

إن المعداد التنازلي هو الجزء الرئيسي في المعداد الترددي والذي يمكن الحصول عليه من دوائر المهاز (FLIP-FLOP) وبوابة AND كما هو موضح في الشكل (9.3) ويدعى هذا النوع من المعدادات بالمعداد التمويجي ويلاحظ ان الساعة فيها مكونة من دائرة مهاز واحدة تساق من الاشارة الخارجة من مهاز سابق والذي يتطلب تموج نبضات الساعة خلال المعداد من المرحلة الاولى الى المرحلة الاخيرة . ويتم سوق المرحلة الاخيرة من الساعة التابعة الى المرحلة الاولى والتي تحافظ على خفض زمن التأخر الى درجة معينة .

هناك طريقة اخرى في بناء المعداد وذلك باستخدام المعداد التزامني ، كما موضح في الشكل (9.4) وتربط ساعات الـ ftip-flop كافة مع بعضها ، وبذلك يمكن الحفاظ على تأخر انتشاري منخفض ويسمح بالحصول على سرعة عالية في عمل المعداد .



شكل (9.3) معداد عشري



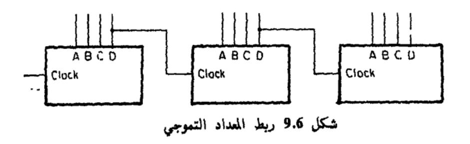
ويمكن تكوين المعداد التنازلي بتسلسل معين كما هو موضح في الشكل (9.5) ويدعى ذلك بالنظام الثنائي المرّمز عشرياً (BCD) والذي يشير اسمه الى استخدام النظام الثنائي الاعتيادي لأن كل رقم يعرف الارقام من 1 الى 9 فمثلاً يمكن تعريف الرقم 147 في نظام BCD بشكل 0111 0100 0001 يستخدم معداد BCD واحد لمرتبة واحدة فقط . إذ يجب ربط عدد من هذه المعدادات على التوالي للحصول على قراءة لمراتب عشرية متعددة . فمثلاً تربط ثلاثة معدادات BCD عند الحاجة الى عد الارقام بين 0 الى 999 وهناك طريقتان لعملية ربط معدادات BCD مع بعضها . وهي الربط التموجي أو الربط التزامني .

ساعة	D	C	B	A
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	0	0	0	0

(حالة المعداد: D C B A)

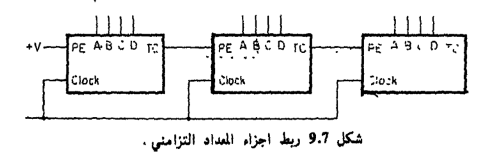
الشكل (9.5) تسلسل المعداد الثنائي المرمز عشرياً

إن استخدام الربط التموجي في الوقت الحاضر اصبح مقتصراً على المعدادات الخاصة بالترددات الواطئة ، إذ يكون بطيئاً جداً . ونحتاج في الربط التموجي الى اشارة المرحلة الاخيرة في معداد المرتبة الاخيرة لسوق المرحلة الاولى من معداد المرتبة الآتية (الاعلى) . ويوضح الشكل 9.6 كيفية ربط هذه الاجزاء .



شكل 9.6 ربط المعداد التموجي

اما المعداد التزامني فيحتوي على طرف اخر خاص بالرقم المحمل والذي يضاف الى المرتبة الآتية في المعداد التزامني ، كما هو موضح في الشكل (9.7) يصبح خرج هذا الطرف بمنطق 1 بعد النبضة الزمنية التي تغير حالة المعداد الى الـ 9 . وبذلك يكون المعداد جاهزاً لزيادة المرتبة التالية عند وصول النبضة الزمنية التالية .

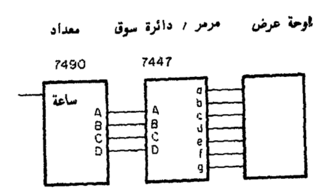


شكل 9.7 ربط اجزاء المعداد التزامني .

وبذلك نضمن تزامن عمل المعداد مع النبضة الزمنية الصادرة من الساعة .

وعند ربط أكثر من معداد تزامني على التوالي ، تكون متطلبات تغير حالة المعداد متوقفاً على وصول المعدادات الخاصة بالمراتب الادني الى الرقم 9 . وتحوى معظم المعدادات الموضوعة في دوائر متكاملة على منطق داخلي والذي يخبر عن وصول الرقم 9 في المراتب الادنى من المرتبة المطلوبة . وتؤخر هذه العملية من عمل وخاصة عند ربط عدد كبير من المعدادات على التوالي . اذن ولتلافي هذه المشكلة تستخدم طريقة اخرى في الناحية العملية وتدعى بـ ((النظر بعيداً)) أو بتوجيه الرقم المحمل وهي تستخدم لخفض مقدار تأخر الانتشار .

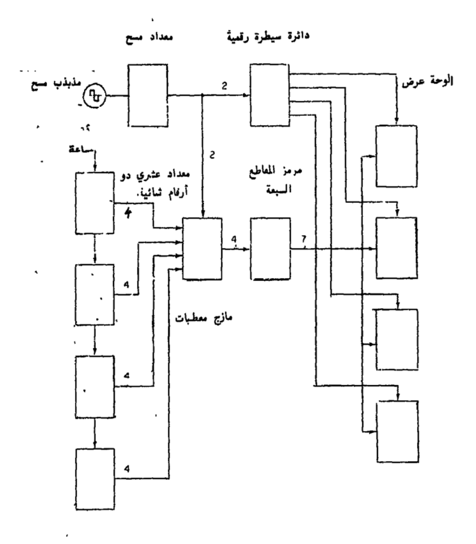
وبعد الانتهاء من عملية العد والحصول على معلومات بشكل BCD عند خرج المعداد يجب تحويلها وعرضها بشكل يمكن رؤيته على شاشة أو طبعة على ورق معين ، حسب ماهو مرغوب به . .فمثلاً يمكن اجراء هذا التحويل ونقله الى الارقام المرتبة المسماة بالمقاطع السبعة والتي تتطلب استخدام دائرة متكاملة واحدة رخيصة الثمن . ويوضح الشكل (9.8) معداداً ذا حجم ارقام ثنائية مربوطاً الى المقاطع السبعة يجب اظهار الرقم المطلوب من المعداد الترددي بشكل مستمر اذ يصفر المعداد عادة ثم يبدأ العد خلال مدة التبويب . وخلال هذه المدة تكون قراءة العارضة متغيرة بصورة مستمرة ولايمكن قراءتها . لذلك يجب خزن القراءة عند نهاية العد (التي تمثل الرقم المطلوب) في مخزن بسيط ويكرر عرضه على العارضة خلال مدة العد التالية . ويتكون هذا الخزن من مخازن لاربعة أرقام ثنائية لكل مرتبة من مراتب الـ BCD .



شكل (9.8) مخطط عام لمعداد تنازلي مربوطاً الى عارضة السبع مقاطع

تستخدم عادة بعض الدوائر المكبرة ودوائر التوفيق بين العارضة (7 ـ مقاطع) ودوائر المعداد المنطقية لتزويد الاولى بالتيار اللازم لها اذ لا يمكن ربطها مباشرة الى خرج الدوائر المتكاملة.

تتوفر بعض التقنيات العملية لخفض عدد الدوائر الالكترونية اللازمة وخاصة في المعدادات التي تتطلب اعداداً كبيرة من الارقام، أكثر من 10 مثلاً. ويوضح الشكل (9.9) احدى هذه التقنيات وتدعى بمزج أو تداخل العرض وهي تخفض من عدد دوائر التكبير والمرمزات المطلوبة في مثل هذه المعدادات الكبيرة.



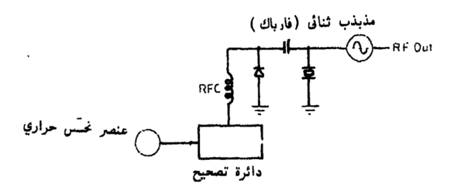
شكل 9.9 مخطط توضيحي للوحة عرض مازجة تستخدم في معداد ترددي

ففي هذا المثال يشارك مرمز واحد مشترك ودائرة توفيق واحدة في اظهار الارقام جميعاً اذ تقوم دائرة المزج **multiplexer** باختيار بيانات **BCD** من احد المزالج وارسال هذه المعلومات الى مرمز العارضة ويقوم هذا المرمز بدوره بعرض المعلومات على المقاطع السبعة. ويتم السيطرة على العمليات باجمعها بوساطة مذبذب ومعداد، يسميان (مذبذب ومعداد المسح) (**Scan Oscillator & Counter**) وبتكرار هذه العملية عدداً من المرات وبسرعة معينة نلاحظ العارضة وكأنها ثابتة. وتظهر فائدة هذه التقنية عند جمع دوائر المعداد الترددي في شريحة سليكونية واحدة.

9.2.1 القاعدة الزمنية **Time base**:

يتم التحكم في تسلسل العمليات التي تجرى في المعداد بوساطة القاعدة الزمنية (**time base**) الذي يزود التوقيت اللازم لاجراء العمليات، مثل تصفير المعداد وفتح بوابة العد، وغلقها، وكذلك خزن القراءة في المزلاج. تكون عملية تصفير المعداد وخزن المعدود حوادث او عمليات غير حرجة من ناحية الزمن طالما تحدث قبل او بعد مدة التبويب على التوالي. اما فتح او غلق بوابة العد من جانب آخر فهي تحدد الدقة في قراءة التردد وهي دقيقة او حرجة من الناحية الزمنية.

ويكون اعتماد الدقة في معداد التردد على اشارات القاعدة الزمنية بصورة مباشرة. يكون استخدام بلورة الكوارتز في دائرة المذبذب أمراً مهماً للحفاظ على استقرارية الاشارات الناتجة عند تغيير درجة الحرارة. وقد تستخدم بعض دوائر التعويض او التعديل لتصحيح التردد الناتج نتيجة اختلاف المصدر او الحرارة. كما هو موضح في الشكل (9.10) الذي يوضح مخططاً سهلاً لمذبذب بلوري (كوارتز) مزوداً بالتعديل الحراري. ويكون المذبذب البلوري الاعتيادي مشابهاً بصورة رئيسة لمذبذب التعادل، ماعدا ربط ثنائي-الفارياك عبر بلورة الكوارتز، والذي يؤخر بتغيير التردد الى دقائق معدودة. ويكون الخطأ في تردد المذبذب البلوري خلال درجة حرارة معينة صغيراً نسبياً ويمكن خزنه في دائرة التصحيح، وهي اما ان تكون مخزناً رقمياً **digital storage** او دائرة تناظرية وبخواص غير خطية. ويمكن تزويد دائرة التصحيح بدرجة حرارة المحيط ويتم ضبط تردد المذبذب بوساطة تغير فولتية الفارياك المعتمدة على درجة الحرارة.



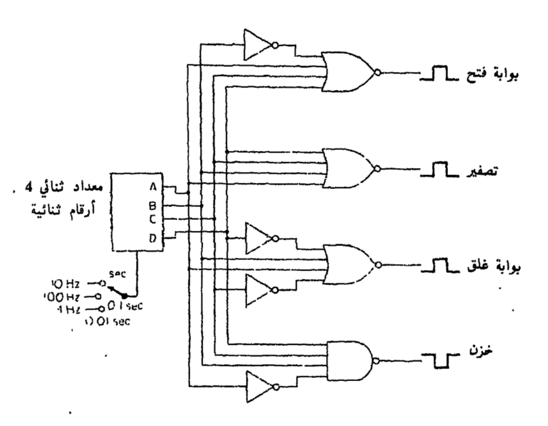
شكل 9.10 مخطط توضيحي لتصحيح درجة الحرارة لمذبذب بلوري.

وفضلاً عن تأثير درجة الحرارة على التردد المذبذب البلوري هناك ظاهرة تغير تردد البلورة بعد مدة معينة من الزمن يعتمد على عمر البلورة نفسها. ويمكن خفض هذا التأثير في اختلاف التردد بمعالجة البلورة نفسها بتقنية خاصة الا أن هذا التغير مازال مرتفع التكاليف نسبياً اذ يبلغ 5×10^{-7} جزءاً خلال السنة ويمكن التعويض عن ذلك باعادة ضبط دائرة التعويض في مدد معينة.

نحتاج الى ثلاثة مخارج من دائرة القاعدة الزمنية وهي نبضة التصغير ونبضة التبويب، ونبضة التزامن حسب تسلسلها، يوضح الشكل **9.11** دائرة سهلة لتوليد هذه النبضات الثلاث المطلوبة من دون تداخل. اذ يقسم تردد المذبذب البلوري على مضاعفات العشرة لان مدة النبضة لتردد البلورة اقل كثيراً من زمن التبويب المطلوب. ويتكون المقسم الرقمي النهائي بشكل معداد ثنائي ذي 4- ارقام ثنائية اي **16** حالة. وتستخدم كل حالة من هذه الحالات لغرض معين مثل تصفير المعداد، نبضة تأخير، وتحديد، عدد النبضات........ الخ.

ومن المهم ملاحظة أن تأخر الانتشار من زمن ادخال نبضة الساعة الى حدوث حافات نبضات الفتح او الغلق هو نفسه في كل الحالات وبذلك يكون التبويب مساوياً لعدد صحيح من نبضات الساعة ونحتاج في ذلك دوائر منطقية سريعة، وبتصميم دقيق.

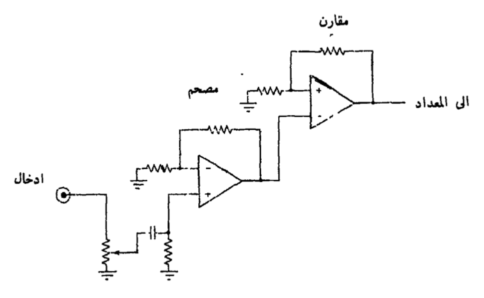
يتوفر في معظم معدادات التردد مدد زمنية متعددة يمكن اختيار اي منها بواسطة مفتاح دوراني، كما موضح في الشكل **9.11** ويمكن اختيار المدة المطلوبة مثل **1** هرتز، **10** هرتز، **100** هرتز، **1** كيلوهرتز، بوساطة المفتاح وتعطي هذه الترددات مدد زمنية **10**، و **1** و **0.1** و **0.01** ثانية على التوالي.



شكل 9.11 مخطط منطقي ـ لمعداد ترددي

9.2.2 عمليات ادخال الاشارة : ـ

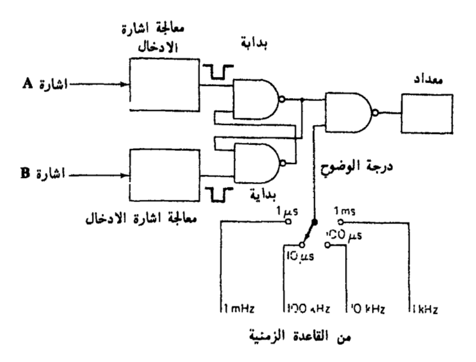
تستخدم بعض دوائر التكبير في عملية ادخال الاشارات الصغيرة (غير المعروفة التردد) للتأكد من قدرتها على سوق المعداد الترددي بعد حصولها على مستوى منطقي معين . يوضح الشكل 9.12 مخططاً عاماً لدائرة ادخال المعداد الترددي . وقد تكون فولتية صغيرة (ببعض مللي امبير) كافية لقدح المعداد الترددي الذي يستخدم هذه الدائرة .



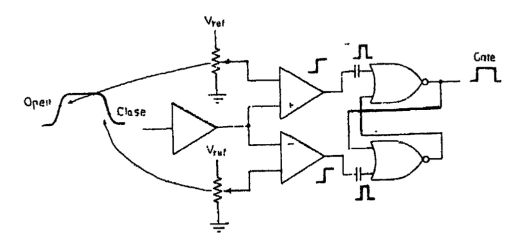
شكل 9.12 دائرة ادخال لمعداد ترددي .

9.2.3 قياس المدة الزمنية :

يمكن قياس المدة الزمنية بين نبضتين عند ادخالها الى مقياس المدة الزمنية اذ تمثل احداهما نبضة فتح البوابة اما الثانية فتمثل زمن غلق البوابة كما يمكن توضيح المخطط العام لهذا الربط في الدائرة الموضحة في الشكل 9.13 ويجب معالجة اشارتي الدخل بالطريقة نفسها في عملية عد نبضات التردد المذكورة سابقاً ويمكن اجراء عملية قياس المدة الزمنية باستخدام اشارة ادخال واحدة وتكوّن هذه الفكرة مفيدة في تحديد المدة الزمنية لنبضات او أية اشارات اخرى . وتكون اشارة الدخل في هذه العملية اشارة تبويب اما نبضات الساعة الداخلية فهي تستخدم مصدراً للتوقيت . ومن الواجب عند قياس مدة النبضة فتح بوابة العد عند الحافة المرتفعة للنبضة وغلقها عند الحافة الهابطة للنبضة . كما يمكن أن يكون العكس صحيحاً في حالة النبضات السالبة . فاذا كانت الحافات المرتفعة او الهابطة للنبضات سريعة . (حادة) مقارنة مع تردد الساعة الداخلية فإن نقطة القدح في الاحوال كافة تكون غير حرجة . وهناك مفتاح خاص في المعدادات الحديثة لتحديد مقدار منسوب الفولتية المؤثرة على فتح وغلق البوابة . كما هو موضح في الشكل (9.14) ومن الطرق المهمة في قياس المدة الزمنية طريقة القياس بتحديد التردد ، وتعتمد على قياس المدة الزمنية بين موجتين ولا تتم هذه العملية بالاعتماد على الحافة المرتفعة او الهابطة وانما تعتمد على قياس المدة

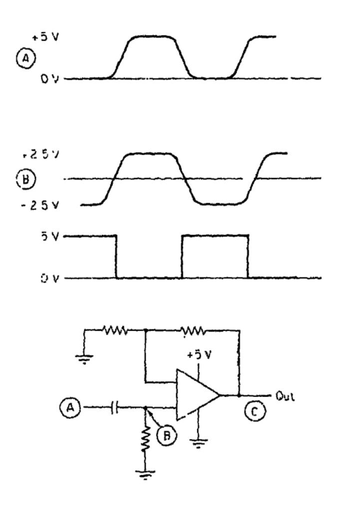


شكل **9.13** ترتيب الدائرة الخاصة بقياسات المدة الزمنية .



شكل **9.14** دوائر ادخال معداد ترددي .

بين نقطة معينة على دورة معينة أيضاً والنقطة نفسها في الدورة التالية . اذ تفتح البوابة عند نقطة معينة موجودة في موجة ادخال وتغلق عند النقطة نفسها في الدورة التي تليها . وتتم عملية القياس بوساطة هذه الطريقة بالآتي : تربط موجة (ac) الى كاشف التقاطع الصفري الذي يولد موجة قدح الى دائرة **flip-flop** . ولا تتأثر عملية القدح ذات الانحدار المعاكس عند وصول التقاطع الصفري التالي . كما تتأثر بالتقاطع الذي يليه وبذلك نحصل على مدة موجة كاملة أي يتم قدح دائرة **flip-flop** في بداية كل موجة . ويمكن توضيح هذه الدائرة الموضحة في الشكل **9.15** .



شكل **9.15** كاشف صفري لعداد ترددي والموجات الناتجة عنه .

9.3 اخطاء القياس :

1 ـ خطأ التبويب :

تعتمد قياسات التردد والزمن بواسطة المعداد الالكتروني على عدد من العوامل التي تحدد بدقة الجهاز نفسه . ومن أهم هذه العوامل خطأ التبويب الذي يحدث في قياسات التردد والفترة الزمنية . اذ تقوم البوابة الرئيسية في الفتح والغلق بنبضة المذبذب . ويسمح هذا لاشارة الادخال في المرور خلال البوابة ليتم عدها بالمعداد . ويلاحظ ان نبضة التبويب غير متزامنة مع اشارة الادخال اذ لا توجد علاقة بينها .

يوضح الشكل 9.16 مدة التبويب بوساطة الموجة (جـ) كما تمثل الموجتان (أ) و (ب) اشارة الادخال في علاقة طورية متداخلة مع اشارة التبويب ويلاحظ أنه يتم عد ست نبضات في احدى الحالات في حين تمر خمس نبضات في حالة اخرى الى البوابة ، أي أن هناك فرق $\pm$ 1 نبضة في هذا القياس . يكون تأثير خطأ التبويب واضحاً ومؤثراً في قياس الترددات الواطئة فعند قياس تردد 10 هرتز مثلاً ويكون الخطأ $\pm$ 1 فهذا يعني وجود خطأ بمقدار يتراوح بـ 10% ولذلك يفضل استخدام الطريقة السابقة التي تعتمد على المدة الزمنية وليس على التردد في قياس الترددات الواطئة .

ويمكن وضع حد فاصل بين استخدام قياسي التردد والمدة الزمنية بالآتي : ـ

f_c = تردد البلوري او المذبذب في الجهاز .
f_x = تردد اشارة الادخال غير المعروفة .

يكون عدد النبضات الداخلة الى البوابة (المعدودة) في قياس المدة الزمنية مساوياً لـ :

$$N_p = \frac{f_c}{f_x}$$

اما في قياس التردد فيكون عدد النبضات في ثانية واحدة هو :

$$N_f = f_x$$

اما الحد الفاصل بين الطريقتين فيحدد بالتردد (f_o) الذي يتساوى فيه المعداد ($N_p = N_f$) أي :

$$f_o = f_c \quad \text{او} \quad \frac{f_c}{f_o} = f_o$$

اذن يجب قياس الترددات الاوطأ من f_o بوساطة طريقة المدة الزمنية ، كما يجب قياس الترددات الاعلى من f_o بوساطة طريقة التردد وذلك من اجل خفض تأثير الخطأ ± 1 الناتج من خطأ التبويب . اما خطأ الدقة عند التردد f_o المتسبب عن خطأ التبويب ± 1 فهو $\frac{100}{\sqrt{f_c}}$ بالمائة .

1 . خطأ القاعدة الزمنية (Time base error)

يسبب الخطأ في القاعدة الزمنية الى حدوث اخطاء في القياس اذ يحدد القاعدة الزمنية في قياسات التردد عملية فتح وغلق البوابة كما تزود النبضات اللازمة لغرض العد . وتشكل اخطاء القاعدة الزمنية خطأ ضبط المذبذب ، وخطأ استقرارية البلورة في الفقرات القصيرة او بفترات طويلة .

2 . خطأ استقرارية البلورة لفترة قصيرة : ـ

وسبب هذا الخطأ هو تغير الذبذبة الناتجة من البلورة لفترة محددة نتيجة الحالات العابرة للفولتية . فضلاً عن اسباب اخرى مثل الضربات او الاهتزازات او نتيجة التشويش الكهربائي وغيرها . ويمكن خفض هذه الاخطاء بقياسات التردد وذلك بتبويب المعداد لمدة زمنية طويلة (10 ثانية الى 100 ثانية مثلاً) ويكون الرقم المقبول لاستقرارية البلورة في حدود 1 الى 2 من 10^7 جزء .

3 . خطأ الاستقرارية لفترة طويلة :

هذا النوع من اصعب الاخطاء وهو يحدد الدقة والتردد وكذلك المدة الزمنية . ويكون هذا الخطأ معتمداً على عمر البلورة وكذلك تآكل البلورة نفسها ، ويمكن تقدير هذا التغير اذ ربما يكون المعدل الابتدائي لتغير تردد البلورة بحدود جزءاً واحداً من المليون في اليوم الواحد . وقد يمكن خفض هذا المعدل اذا تم المحافظة على درجة الحرارة عمل البلورة في حدود 50 الى 60 درجة

مئوية ومن اجل توضيح تأثير خطأ الاستقرارية لمدة طويلة على دقة القياس ، نفرض ان ضبط المذبذب قد تم بحدود جزء واحد من 10^9 وكان تأثير الاستقرارية هو جزء واحد من 10^8 في اليوم . كما نفرض ان الضبط قد تم قبل 60 يوماً . اذن تكون الدقة في هذا الوقت اي بعد مضي 60 يوماً هي :
$1 \times 10^{-9} + 60 * 10^{-8} = 6.01 \times 10^{-7}$ أي حوالي 6 اجزاء من 10^7
ومن هذا يلاحظ ان اعلى دقة ممكنة تحصل عند ضبط التردد في وقت اجراء القياس .

4 . خطأ مستوى القدح :

تفتح وتغلق بوابة في حالة قياس التردد او المدة الزمنية بوساطة اشارة الادخال نفسها . وتعتمد دقة الفتح والغلق على الخطأ الحاصل في مستوى نبضة القدح . لذلك يتم تكبير اشارة الادخال اولاً وتهيأ اولاً قبل استخدامها في عمليتي الفتح والغلق والذي يكبر عند تكبير الاشارة نفسها . ويمكن القول بصورة عامة أنه يمكن خفض تأثير اخطاء زمن القدح عند وجود اشارة ادخال عالية المستوى وسريعة الانتقال من مستوى الى آخر .

يمكن الحصول على دقة عالية اذا اتبعت المقترحات الآتية : ـ

أ) يمكن خفض تأثير خطأ التبويب وذلك بجعل تردد الموجة المقاسة اعلى اما عند قياس المدة الزمنية فيكون تردد الادخال اقل من $\sqrt{f_c}$ إذ تمثل f_c تردد ساعة المعداد .

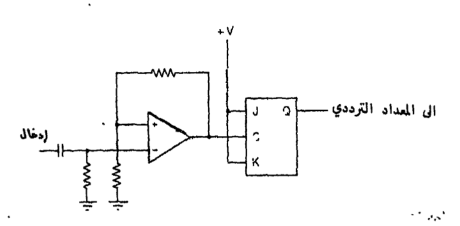
ب) يكون تأثير (الاستقرارية ـ لمدى بعيد) على دقة القياس معتمداً غالباً على الزمن .

جـ) تتأثر دقة قياس المدة الزمنية بصورة كبيرة بوساطة انحدار اشارة الادخال التي تسيطر على بوابة الاشارة . ويكون للموجة عالية المستوى زمناً سريعاً والتي تضمن الدقة العلياً .

9.4 توسيع المدى الترددي للمعداد : ـ

إن حدود التردد للمعداد الموضح في الشكل 9.1 هو في حدود 100 ميكاهرتز على الرغم من استخدام دوائر منطقية سريعة ودوائر معتمدة اخرى

في تركيب المعداد . وتستخدم عدد من التقنيات في الوقت الحاضر لزيادة المجال الترددي للمعداد . ومن احدى الطرق طريقة **Presaler** كما هي موضحة في الشكل **9.16** . وتعتمد هذه الطريقة على قسمة التردد عند الادخال على **10** وليس لها علاقة بسوق العارضة المرئية او التبويب اي من البوابات ولا تدخل في عملية ايلاج المعطيات من المزلاج . ولذلك نلاحظ ان تأخر انتشار الاشارة غير ضروري مادام الجهاز يعمل في هذه الطريقة وبأي تردد كان .



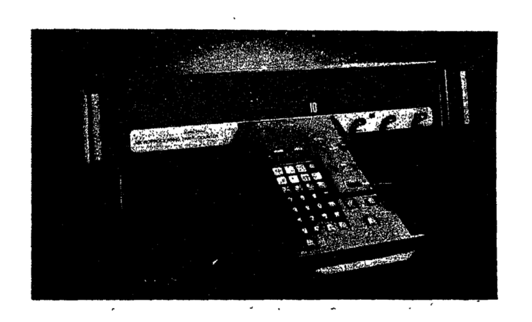
الشكل **(9.16)** مخطط لدائرة الادخال لقياس المدة الزمنية لموجة معينة .

اذا إستخدمنا القسمة على **10** مع معداد ترددي بـ **10** ميكاهرتز فيعني هذا زيادة المدى الترددي للمعداد بعامل **10** اي يمكن قراءة الى حد **100** ميكاهرتز ، وتتوفر بعض المعدادات التي تستخدم هذه الطريقة لترددات تبلغ **1000** ميكاهرتز بقسمة التردد على **10** او **100** اي يمكن توسيع المدى الترددي لمعداد **10** ميكاهرتز الى **1000** ميكاهرتز .

وعلى الرغم من سهولة هذه الطريقة فهناك ضريبة مقابلة يجب دفعها الا وهي انخفاض دقة المعداد الترددي بالعامل نفسه لزيادة التردد فاذا استخدمنا معداداً **10** ميكاهرتز فيمكن توسيع مدى هذا المعداد الى **100** اي بعامل **10** فاذا كان المعداد يقرأ الى اقرب **1** هرتز فعند ضرب التردد بعامل **10** اي ضرب الارقام كلها بهذا العامل يقرأ المعداد قيمة التردد والى أقرب **10** هرتز أي بانخفاض الدقة بعامل **10** كذلك . ويمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام زمن القاعدة الزمنية أطول . وتبقى هذه المشكلة في الناحية العملية في قياس الترددات العالية (**1000** ميكاهرتز مثلاً) وبدقة قليلة (أقل من **1** كيلوهرتز) .

يختصر المعداد الذي يعمل بطريقة **Presalor** في قياس الترددات العالية (الى حد **1500** ميكاهرتز تقريباً) . اما اذا حاولنا قياس الترددات الاعلى من هذا في استخدام طريقة المزج .

يوضح الشكل **9.17** المعداد الترددي الذي يستخدم المغير الهيدودايني (المزج) ، ويعمل هذا المغير عادة مع معداد **50** ميكاهرتز أو اقل وتتم هذه العملية بوساطة مزج اشارة الدخل مع موجة **100** ميكاهرتز ويستخدم حاصل الجمع او الطرح . وعند الحاجة الى استخدام ترددات اعلى من **100** ميكاهرتز فتدخل هذه الموجة الى ثنائي ذي الاستعادة السريعة **(STEP RECOVER)** والذي يولد بدوره حزمة كبيرة من التوافقيات تبلغ **5000** ميكاهرتز أو اعلى ويمكن اختيار اي تردد بين **100-5000** ميكاهرتز بدائرة رنين خاصة بالتردد المطلوب . وقد لا يؤثر تردد التوافقية المختارة على دقة القياسات .



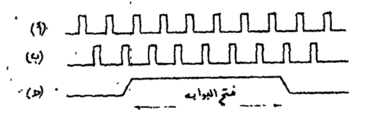
يتم مزج التوافقية المختارة مع اشارة الدخل ويرشح الفرق بينهما ثم يكبر ويزود به المعداد .

وبسبب توفر توافقية معينة كل **100** ميكاهرتز . فيجب ان لا تكون موجة الدخل بتردد اعلى من التوافقية المختارة بأكثر من **50** ميكاهرتز . ولذا يجب ان تكون لدينا معلومات قريبة عن الموجة الداخلة وبحدود **10±** ميكاهرتز أو اقل .

لغرض معرفة التوافقية اللازمة لها وللحصول على دقة قياس مناسبة . ويجري ذلك بتقنية قياسية اخرى مثل مقياس الموجة أو المحلل الطيفي للموجة .

وبما أن التوافقية المختارة تضاف أو تطرح من اشارة الدخل يتوجب على مستخدم الجهاز التعرف على التردد الحقيقي بعملية حسابية بسيطة (اما اضافة أو طرح) .

ويتوفر في الوقت الحاضر بعض انواع المعدادات التي تقوم بأختيار التوافقية المطلوبة وكذلك اجراء الحسابات الضرورية وبصورة ذاتية . يوضح الشكل (9.18) المخطط العام لوحدة تعمل على تحويل الترددات والى حد 4000 ميكاهرتز وبصورة ذاتية وتدخل الى معداد 500 ميكاهرتز . تضرب الاشارة الناتجة من المعداد وهي 100 ميكاهرتز . بأستخدام مضاعف التردد الترانزستوري وللحصول على 500 ميكاهرتز . تضخم هذه الاشارة وتستخدم لسوق ثنائي مضاعف التردد . ثم يؤخذ خرج هذا المضاعف ويرشح للحصول على ترددات 1000 ميكاهرتز و 1.5 و 2 و 2.5 و 3 و 3.5 الف ميكاهرتز .



الشكل 9.18 خطأ التبويب .

تغذى اشارة الدخل الى مكبر الذي يزود بدوره المازج mixer وكاشف المنسوب وعند الكشف عن وجود الاشارة بوساطة كاشف المنسوب ترتب ترددات المزج الستة المحتملة وهي 1 ,1.5 ,2 ,2.5 ,3 ,3.5 الف ميكاهرتز تصاعدياً في حين تحدد اشارة الخرج بتردد اقل من 500 ميكاهرتز ، وهذا يحدد تردد الفرق بين تردد الاشارة الداخلة وتردد المازج وبحدود اقل من 500 ميكاهرتز ومن ثم يرسل هذا الفرق في التردد الى المعداد
ومن المفيد هنا حساب التأثير على الدقة نتيجة توسيع المدى الترددي للمعداد في كل من نوع prescalor ونوع المزج .

نفرض في حالة **Prescalor** ان تردد الخرج يساوي تردد الادخال مقسوماً على عامل القسمة **N** . اي من دون فقد أية نبضة اثناء العد . اي يكون تردد الخرج في العارضة يساوي

$$\text{تردد الخرج} = \frac{f_{in}}{N} \; t$$

ونلاحظ عند ثبوت **N** أن الدقة تعتمد على زمن التبويب **t** اي ان دقة معداد نوع **prescalor** تساوي دقة المعداد من دون توسيع . اما في حالة استخدام طريقة تحويل التردد الهيدروداينى حيث تشتق اشارة المزج من ساعة المعداد نفسها . فيكون زمن التبويب عدداً صحيحاً من الدورات نسبة الى ساعة القاعدة الزمنية **time base**

$$\text{زمن التبويب} = \frac{Q}{f_c}$$

اذ تمثل **Q** عامل القسمة وتمثل f_c تردد ساعة المعداد . ويكون تردد الخرج من محول التردد هو التردد نفسه الداخل الى المعداد f_{in}

$$f_{in} = f_{in}' \pm Nf_c$$

أي تكون قيمة التردد في عارضة المعداد تساوي تردد الادخال الى المعداد مضروباً بزمن القاعدة الزمنية أي .

$$\text{التردد} = f_{in} \left(\frac{Q}{f_c} \right) = \frac{f_{in}' \, Q}{f_c} + QN$$

ونلاحظ ان علاقة التردد في الادخال مع تردد العارضة يعتمد على f_c فقط . ونستنتج من هذا ان الدقة في قراءة المعداد لاعلاقة لها مع توسيع المدى الترددي في كلتا الحالتين : حالة **prescalor** وحالة مزج التردد .

9.5 معداد الترددات الواطئة :

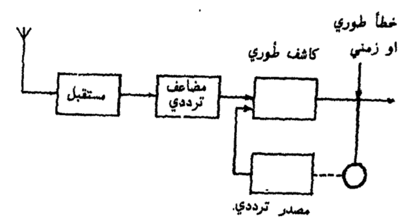
لاحظنا من الفقرات السابقة أن معداد التردد هو جهاز رقمي ذو كفاءة عالية في القياس وخاصة في حساب او قياس الترددات الواطئة وبدقة عالية نسبياً . وهناك مشكلة واحدة تظهر في هذه الحالة (قياس الترددات الواطئة جداً) . فاذا حاولنا قياس اشارة بتردد اقل من 1 هرتز وبدقة 0.01 هرتز ، فسنحتاج الى 100 ثانية اذا استخدم معداد ببوابة ادخال اعتيادية ، ولذلك يفضل في مثل هذه الحالات قياس المدة الزمنية لموجة الدخل ومن ثم حساب التردد من علاقة

$$\text{التردد} = \frac{1}{\text{المدة الزمنية}}$$

ويكون الزمن اللازم لعرض نتائج على العارضة هو المدة الزمنية لنبضة الدخل غير المعلومة . فمثلاً تكون المدة الزمنية لموجة دخل 1 هرتز هي 1 ثانية في حين تكون مدة الحساب هي 1 ملي ثانية او اقل . أي أن القياس يتضمن المدة الزمنية للموجة زائداً زمن الحساب لهذا يكون احتمال الخطأ كبيراً نسبياً ويمكن تكرار العملية عدد من المرات والحصول على معدل القراءات كما نلاحظ تحسن في قيمة الخطأ عند اخذ الموجة الثانية او الثالثة اما قراءة العارضة فتمثل معدل الحسابات دائماً . لقد اصبح من الواضح ان قياس المدة الزمنية لموجة دخل معينة وبتردد ساعة معينة كذلك ومدى زيادة الدقة نسبة الى قياس التردد لموجة الدخل عند زمن تبويب ثابت .

يوضح الشكل (9.19) مخططاً عاماً لمعداد ترددي يتمكن من قياس المدة الزمنية والتردد لموجة الدخل وبصورة ذاتية واجراء الحسابات اللازمة وعرض النتائج على العارضة والخاصة بالمعداد . ويلاحظ من هذا الشكل ان هناك معدادان بدل المعداد الواحد المستخدم في الطريقة الشائعة ، يستخدم احد المعدادين في تجميع تردد الدخل في حين يقوم المعداد الثاني في تجميع الساعة الخاصة بالعداد . ويبوب المعدادان آنياً بحيث يجمع دورات الدخل في المعداد A في حين تجمع دورات الساعة في المعداد B ويمكن تحديد تردد موجة الدخل من العلاقة الآتية : ـ

$$\text{التردد} = \frac{\text{العد في } A}{\text{العد في } B}$$



الشكل (9.19) مخطط لعداد ترددي لقياس المدة الزمنية .

تتم السيطرة على فتح وغلق البوابة بوساطة موجة الدخل او من الساعة الداخلية . فاذا استخدمت الساعة الداخلية فهي تمثل الطريقة الشائعة في القياس أما اذا تم التحكم في بوابة الدخل بوساطة اشارة الدخل ، فمعنى ذلك اجراء قياس المدة الزمنية .

الاسئلة

الفصل التاسع

1 ـ ماهي اجزاء المعداد الترددي البسيط .

2 ـ عدد أنواع المعداد الترددي المستخدم في قياس التردد والمدة الزمنية .

3 ـ الى أي مدى من الدقة يمكن لمعداد ترددي تحديد تردد موجة ذات 450 كيلوهرتز ، باستخدام قاعدة زمنية 1 ـ ثانية ودقة هذه القاعدة الزمنية في حدود 0.01 بالمائة .

4 ـ كم عدد مراتب العارضة التي يجب أن تكون لمعداد له دقة ودرجة وضوح 0.001 بالمائة .

5 ـ ماهي العوامل المؤثرة على تحديد الدقة ـ درجة الوضوح .

6 ـ ماهي الطرق التي يمكن استخدامها لزيادة المدى الترددي لمعداد ترددي وكيف يمكن الحصول عليها دون التأثير على دقة المعداد .

7 ـ ماهي المشكلات التي ترافق قياس الاشارات النبضية .

8 ـ ماهي الاخطاء المتوقع ظهورها في قراءة المعداد الترددي وكيف يمكن السيطرة عليها .

١٠

مُغيرات الاشارة

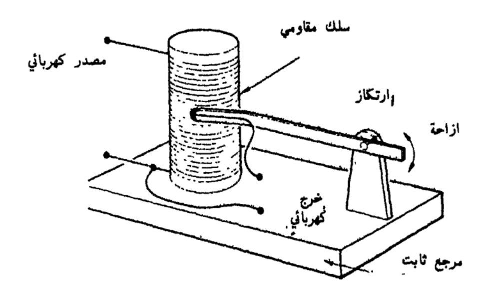
Transducers

10.1 ـ تعريف :

مغير الاشارة هو جهاز أو عنصر يستخدم لتحويل اشارة الدخل الى اشارة خرج وبهيئة مختلفة . أي هو الجهاز الذي يحول الحركة الميكانيكية مثلا الى اشارة كهربائية أو بما يعرف مولد فولتية السرعة Tachogenerator . وبالعكس يمكن تغير الاشارة الكهربائية الى حركة ميكانيكية كما في حالة الكلفانوميتر galvanmeter وقد أصبح شائعاً في الناحية العملية استخدام هذا المصطلح بصورة عامة على الاجهزة التي تحول الظواهر الفيزيائية الى اشارات كهربائية وقد تحدث عملية التحويل أو التغيير في كثير من الحالات خلال مرحلة وسيطة ، مثال ذلك ، عند قياس الضغط ، تحول هذه الظاهرة الى حركة ميكانيكية أولاً ومن ثم تحول الى اشارة كهربائية ويمكن الحصول على عملية التحويل الميكانيكية باحدى الطريقتين الآتيتين .

1) أجهزة المرجع الثابت :

إذ يربط أحد اجزاء مغير الاشارة في هذا النوع الى نقطة ثابتة أو سطح ثابت اما الجزء الاخر فيتصل الى المتغير المراد قياسه اما بصورة مباشرة او خلال نظام ميكانيكي خاص ، كما هو موضح في الشكل (10.1) اما اذا كانت الحركة صغيرة فربما نحتاج في بعض الاوقات الى تضخيم هذه الاشارة سواء كانت ميكانيكية أو كهربائية ، وذلك للحصول على حساسية مناسبة .



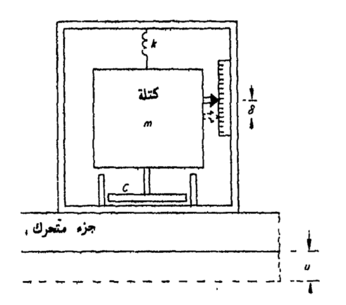
الشكل 10.1 مغير اشارة نوع المرجع الثابت

2) جهاز النابض ـ الكتلي :

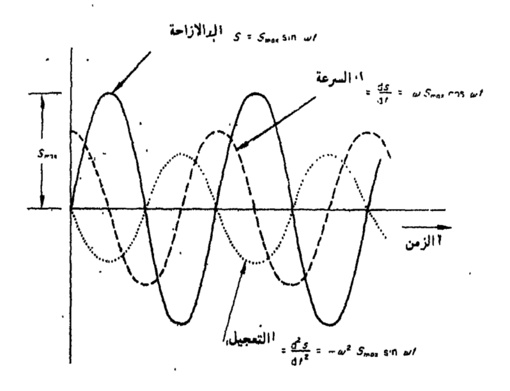
يوجد في هذا النوع من مغيرات الاشارة جزءاً واحداً أو نقطة واحدة مثبتة ، وتربط هذه الى الجهة الثانية من مغير الاشارة المتحرك والمربوط بوساطة نابض الى هذه النقطة الثابتة فعند حدوث حركة خارجية تؤدي الى حركة كتلة المغير (m) بازاحة مقدارها (s) كما هو موضح في الشكل (10.2) وتعتمد كمية هذه الازاحة على مقدار الكتلة وعلى شدة النابض (k) . اما مقدار التوهين (damping) فتعتمد على الموهن (c) إن فكرة هذا الجهاز على بساطتها تعد من الاجهزة الأساسية في قياس الحركة والتذبذب في اغلب انواع العربات المتحركة . وهي ذات حساسية ودقة عاليتين ويمكن الحصول على مواصفات هذا النوع من المغير بملاحظة الشكل 10.3 والذي يوضح مقدار الازاحة والتعجيل الحاصل في الحركة كما يمكن اعطاؤها بالعلاقات الآتية .

$$\text{اعلى تعجيل} = \omega^2 \delta_{max} \quad m/s^2$$

$$= \frac{\omega^2 \delta_{max}}{g}$$



الشكل 10.2 مغير اشارة نوع النابض ـ الكتلي



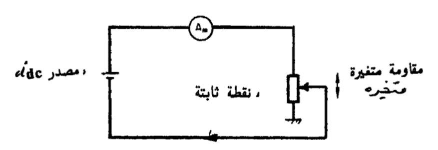
الشكل 10.3 علاقات الحركة التذبذبية .

10.2 انواع مغيرات الاشارة :

يمكن تصنيف مغيرات الاشارة الى عدد من الاصناف اما بالاعتماد على طريقة عملها او على وظيفتها في قياس المتغيرات مثل الازاحة او التعجيل . وسنحاول الأخذ بالمبدأ الاول وذلك بالاعتماد على طريقة عمل المغير . وفي حالة فهم هذا المبدأ فيمكن تطبيق اي نوع منها في محلها المناسب وقياس المتغير المطلوب .

1 ـ مغيرات الاشارة المعتمد على تغيير مقاومة :

إن فكرة هذا النوع من المغيرات يعتمد على تغيير في مقاومة تربط الى مقياس كهربائي انواع المغيرات على الرغم من عدم انتشارها بصورة واسعة في الناحية العملية . يوضح الشكل 10.4 أساس عمل هذا الجهاز .



الشكل 10.4 مغير اشارة يعتمد على تغيير قيمة مقاومة .

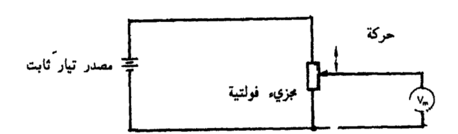
ويستخدم هذا الجهاز لقياس الموضع ، ويحتاج الى نقطة توصيل متحركة (منزلقة) على مقاومة وتتصل النقطة بالجزء المتحرك او المزاح والمراد قياس وضعه او ازاحته .

فاذا تغير موضع النقطة المتحرك نتيجة تغيير الازاحة يؤدي ذلك الى اختلاف قيمة المقاومة وبالتالي الى تغيير قيمة التيار . فاذا ربط مقياس تيار في الدائرة وقسمت لوحة قراءته نسبة الى المواضع المختلفة للنقطة المتحركة فيمكن بذلك تقدير الموضع نسبياً لاية حركة كانت . ويجب ان تكون فولتية المصدر مستقرة لاجل الحصول على دقة ملائمة لعمل هذا الجهاز .

اما النقطة الثانية والمهمة أيضاً في حالة قياس الحركة الموجبة والسالبة نلاحظ مرور التيار في الدائرة (والمقياس) في كافة الاحوال حتى عند نقطة المنتصف (الصفر).

2 ـ مغير الاشارة المعتمد على تجزئة الفولتية :

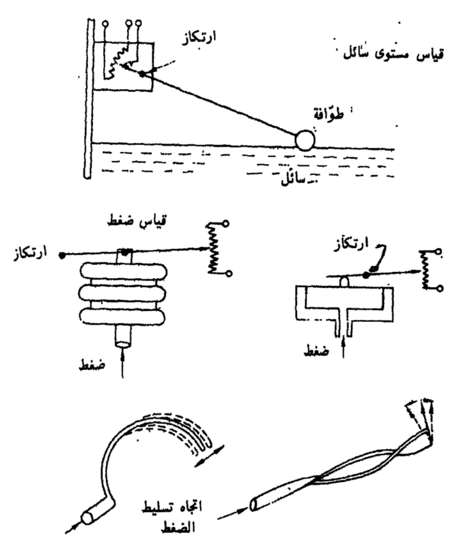
يؤدي تغير المقاومة المتغير الى تغير التيار المار بها تبعاً للحركة المقاسة وتستخدم مقاومات لتجزئة الفولتية في خرج هذا النوع كما موضح في الشكل 10.5 وهو بصورة عامة اكثر ملائمة كما يجب ان يزود هذا الجهاز بمصدر تيار ثابت وتؤخذ قراءة هذا المغير بمقياس عالي الممانعة وذلك لجعل تأثير التحميل قليلاً جداً ويمكن اهماله. ويلاحظ ان المتغير المراد قياسه يربط بطريقة ميكانيكية الى النقطة المنزلقة لمجزىء الفولتية اذ تكون الفولتية الناتجة من ذلك معتمدة على الازاحة التي تنتجها النقطة المنزلقة على مجزىء الفولتية .



الشكل 10.5 مغير اشارة يعتمد على موضع النقطة المتحركة في مجزيء الفولتية

وبما ان مجزىء الفولتية المقاومي يستعمل لتحويل الازاحة الميكانيكية الى ما يناسبها من اشارة كهربائية لذلك يمكن قياس عدد من الكميات الفيزيائية مثل القوى ، الضغط ودرجة الرطوبة .... الخ وذلك باستخدام مجزيء الفولتية ذي المرجع الثابت الذي يوضع بين الكمية المراد قياسها والذراع والذي يحرك بدوره النقطة المنزلقة وهذا ما نلاحظه في الشكل 10.6 الذي يوضح بعض الطرق والتقنيات المستخدمة لتحويل الكميات الفيزيائية الى ازاحات مناسبة لتحريك النقطة المنزلقة على المقاومة .

نحتاج في الحصول على قياسات السرعة او التعجيل في مغير الاشارة نوع المرجع الثابت الى فولتية خرج تتناسب مع الازاحة ، ومع المشتقة الاولى للازاحة



الشكل 10.6 انواع من مغيرات الاشارة الميكانيكية

للحصول على قياس السرعة ، وعلى فولتية تتناسب مع المشتقة الثانية للحصول على قياس التعجيل . وتتم عملية التفاضل او ايجاد المشتقة بدوائر كهربائية ، كما يمكن الحصول على قياس للتعجيل من مغير الاشارة نوع Seismic potemtometric transducer شرط ان يكون التردد الرنيني الميكانيكي له ω_0 اكبر كثيراً من تردد التعجيل (ω) أي .

$$0.2 < \frac{\omega}{\omega_0}$$

تستخدم مقاومة متغيرة نوع السلك الملفوف wire wound في كل من نوعي مغير الاشارة وهما نوع المقاومة المتغيرة ومجزىء الفولتية المقاومي كما يمكن استخدام بعض الانواع الاخرى مثل شريحة الكاربون المرسب (deposited carbon film) او شريحة البلاتين او بعض اللدائن الموصلة .

ويعتمد عمر او مدة تشغيل هذه الانواع من مغيرات الاشارة على التوصيل بين النقطة المتحركة والمقاومة ، وكذلك على سرعة تآكلها ، كما يتحدد تردد عملها ببضع دورات ازاحية في الثانية الواحدة . ويمكن تقدير عمر تشغيل هذه المغيرات بحوالي 3×10^6 دورة عمل ، وهي بصورة عامة رخيصة الثمن وسهلة الاستعمال والربط . ويجب الملاحظة عند قياس الازاحة التغلب على قوة احتكاك النقطة المنزلقة والتي قد تؤثر على قيمة هذه الازاحة .

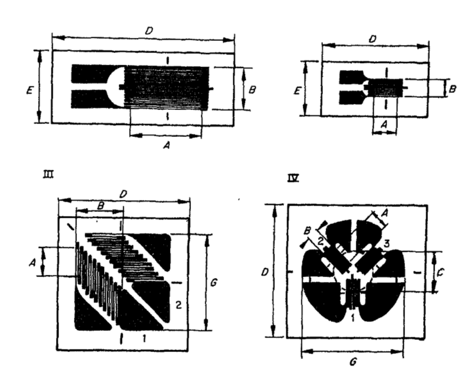
10.3 مقاومة مقياس الاجهاد : (Resistance strain Gauge)

تتوفر مجموعة كبيرة ومهمة من مغيرات الاشارة التي تعتمد في عملها على تغيير مقاومة بحركة ميكانيكية .

ولهذا يجب معرفة اسس وتطبيقات هذه الانواع من مغيرات الاشارة .

اذا سلطت قوة سحب الى سلك كهربائي بطول معين فسيؤدي هذا الى زيادة في طول السلك بمقدار (Δl) ونلاحظ ان الزيادة في الطول تعتمد على الحمل المسلط اذا تجنب حدود المرونة الخاصة بمعدن السلك ، كما يلاحظ ان السلك يعود الى موضعه الاصلي اذا ازيلت القوة المسلطة عليه ويتبع الزيادة في طول السلك عادة انخفاض في قطر السلك نفسه وبما ان مقاومة السلك تساوي ($\frac{\rho l}{A}$) اذ تمثل ρ مقاومية المعدن ، طول السلك و A = مساحة المقطع العرضي للسلك . وتساهم الزيادة في الطول وكذلك النقصان في المقطع العرضي زيادة في قيمة مقاومة السلك المسحوب .

تتوفر انواع من مقاييس الاجهاد Straingauges بشكل سلك ملفوف لتقليل من الطول الذي يأخذه السلك ويكون سمكه حوالي 0.025 ملم مربع ويثبت عادة على ورقة او عازل اخر . ويوضح 10.7 انواعاً من مقاييس الاجهاد ملفوفة باشكال مختلفة وتصنع عادة بتقنيات تشبه الدوائر المطبوعة . ويعتمد حجم المقياس على تطبيقاته المختلفة وعلى الرغم من ذلك فهي تصنع باشكال معينة ملفوفة وبابعاد 3 ملم الى 150 ملم وتتراوح قيمتها بين 120 الى 600 اوم .



الشكل **10.7** انواع مقاومة سلك الاجهاد الملفوف .

عاملْ المقياس :

تعرف حساسية مقياس الاجهاد بدلالة تعتمد على خاصية معينة تدعى بعامل المقياس **K** ويعرف هذا العامل كذلك بتغير المقاومة لطول معين من السلك نسبة للتغير الحاصل في طول السلك نفسه اي :

$$\mathbf{K} \text{ عامل القياس } = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

اذ تمثل **K** = عامل المقياس

R = مقاومة سلاح المقياس الاعتيادية

ΔR = التغيير في مقاومة سلك المقياس

ℓ = طول السلك (من دون شد)
$\Delta\ell$ = التغيير في طول السلك

فاذا عرّفت النسبة $\frac{\Delta\ell}{\ell}$ على أنها الاجهاد σ فيمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$K = \frac{\Delta R/R}{\sigma}$$

ويمكن حساب التغيير في المقاومة R لموصل معين بطول ℓ باستخدام المعادلة الخاصة في حساب مقاومة موصل متجانس المقطع كالآتي :

$$R = \rho \frac{\text{الطول}}{\text{مساحة المقطع}} = \frac{\rho \times \ell}{(\frac{\pi}{4})\, d^2}$$

إذ أن
ρ = المقاومة النسبية لمادة الموصل
ℓ = طول الموصل
d= قطر الموصل

نفرض أن الزيادة في طول السلك نتيجة تسليط الشد عليه هي $\Delta\ell$ وكذلك النقصان في القطر الحاصل نتيجة هذا الشد هو d . اذن تكون المقاومة اثناء الشد هي R_s ويمكن التعبير عنها كالآتي :

$$R_s = \rho \frac{(1 + \quad \ell)}{(\frac{\pi}{4})(d - \quad d)} = \frac{\rho \times \ell (1 + \frac{\ell}{\ell})}{\frac{\pi}{4} d^2 (1 - 2 \frac{\Delta d}{d})}$$

ويمكن تبسيط هذه المعادلة بفرض النسبة $\mu = \frac{\Delta d/d}{\Delta \ell/\ell}$ هو مايعرف بعامل بووزن Poisson's وينتج عن ذلك أن :

$$R_s = \rho \left(\frac{1}{\frac{\pi}{4} d^2} \right) \left(\frac{1 + \frac{\Delta l}{l}}{1 - 2\mu \frac{\Delta l}{l}} \right)$$

والتي يمكن تبسيطها الى

$$R_s = \rho \frac{1}{\frac{\pi}{4 d^2}} \left(\frac{1+ \Delta l/l}{1-2\mu \Delta l/l} \right)$$

ويمكن التعبير عن الزيادة في مقاومة الموصل او السلك مقارنة بالزيادة في الطول l بعامل المقياس K اي أن

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 1 + 2\mu$$

واما قيمة عامل poisson's لاغلب المعادن فتتراوح بين 0.25 و 0.35 اذن تتراوح قيمة عامل المقياس بين 1.5 الى 1.7 .

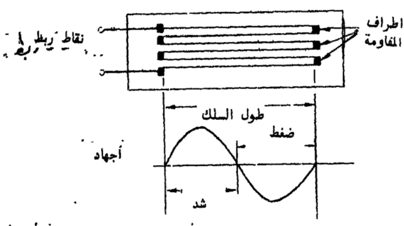
تكون الحساسية العالية مرغوبة في معظم تطبيقات مقياس الاجهاد وهذا يعني وجود تغيير عال في مقاومة السلك التي يمكن قياسها بسهولة مقارنة بالتغيير القليل في المقاومة فمثلاً تكون في قيمة هذا العامل في اسلاك سبيكة النحاس ـ النيكل في حدود 1.9 الى 2.1 في حين ترتفع هذه القيمة في سبائك الحديد ـ الكروم والالمنيوم وكذلك الحديد ـ النيكل الكروم الى حدود 2.8 الى 3.5 .

10.4 تأثير الاهتزاز ودرجة الحرارة على عمل مقياس الاجهاد :

نظراً لعمل مغيرات الاشارة لمدة طويلة وفي ظروف حركية متغيرة في الناحية العملية فهناك بعض العوامل الخارجية التي قد تؤثر عليها ومن أهم هذه الامور هي :

1) الحركة الاهتزازية :

عند الحاجة الى استخدام مقياس الاجهاد في ظروف حركية مثلاً لقياس حركة تذبذبية او اهتزاز معين فيجب أخذ الاستجابة الترددية بنظر الاعتبار فاذا كان طول موجة التذبذب مساوياً لطول السلك . فسيحدث خطأ عال نسبياً . وهي اسوأ حالة اذ يكون معدل تأثير القوى وقيمة الخرج مساوياً للصفر . لاحظ الشكل (10.8) . اما اذا ازداد التردد عن هذه النقطة الحرجة فسنلاحظ رجوع الخرج مرة ثانية ولكن ربما لا تكون لها علاقة مباشرة مع القيمة المراد قياسها .



الشكل (10.8) اسوأ حالة للقياس عند تساوي موجة التردد المقاس مع طول السلك .

2) تأثيرات درجة الحرارة :

درجة الحرارة هي العامل الآخر الذي يؤثر على اداء مقاومة مقياس الاجهاد ويمكن تلخيص هذه التأثيرات كالآتي :

أ) يكون لمقاومة فتيلة المقياس (gauge filament) معامل حراري معين . وقد تكون عالية نسبياً (50.p.p.m لكل درجة حرارية لسبيكة النحاس ـ النيكل) وهي قيمة لايمكن اهمالها .

ب) اما التأثير الثاني لدرجة الحرارة فينتج عن وجود اجزاء غريبة في تكوين سلك المقياس .

جـ) ينتج التأثير الثالث لدرجة الحرارة عن الفرق بين المعاملات الحرارية التابعة للمعادن المكونة للجسم المراد قياسه وبين مقاومة سلك المقياس فاذا حصل تمدد في الجسم المراد قياسه (حرارياً) بصورة أكبر من سلك المقياس فسيكون تأثير ذلك مشابهاً لتسليط قوى ضاغطة على السلك ويعرف هذا بالاجهاد الظاهري .

ويمكن اتباع احدى الطرق الآتية في التعويض عن تأثير درجة الحرارة وهي :

أ) استخدام مقاييس ذات تعويض ذاتي، يكون لمعدن فتيلتها معامل حراري للتمدد مساوٍ تقريباً لمعامل التمدد الحراري للجسم . وتتوفر مجاميع مختلفة لانواع المقاييس مثل المجموعة الفولاذية والمجموعة النحاسية ومجموعة الالمنيوم .

ب) استخدام مقاييس غير فاعلة في دوائر القياس .

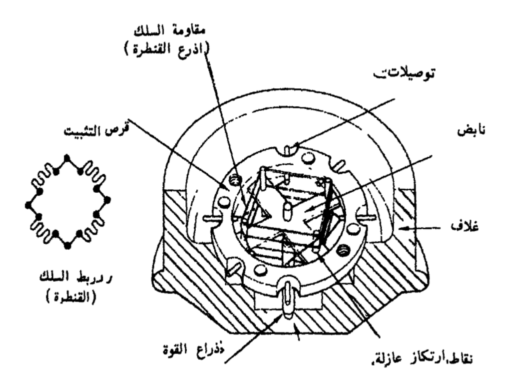
جـ) اضافة فتيلة تعويض في تركيب المقياس من اجل التعويض الحراري .

10.5 تطبيقات مقياس الاجهاد : ـ

لايمكن حصر تطبيقات مقياس سلك الاجهاد في حدود معينة ولكن يمكن تلخيص تطبيقاته المباشرة المتضمن قياس الشد والاجهاد في التركيبات الجاهزة مثل هيكل الطائرة والشد في قاطرات القطار والقناطر والرافعات والكونكريت المسلح وبقية الابنية .

1 ـ مغيرات الاشارة ذات مقياس الاجهاد المقاومي :

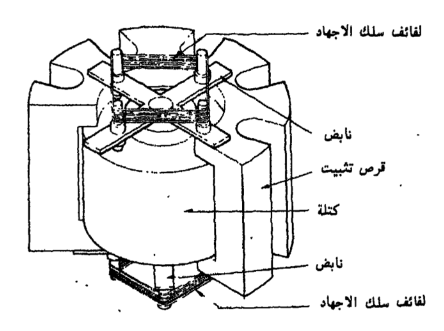
يحتاج مغير الاشارة ذات مقياس الاجهاد في عمله الى تحويل الظاهرة موضع الدراسة الى الاجهاد الميكانيكي اولاً . وذلك يربط المقياس بعنصر مرن ضمن مغير الاشارة والذي تسلط عليه قوة تتناسب مع التغير الحاصل في الظاهرة المقاسة . فاذا كانت القوة المقاسة صغيرة مثل قياس تغير بسيط في ضغط فان استخدام نظام سلك مقياس الاجهاد الذي سيعمل كعنصر مرن يساعد في الحصول على قياس لهذا التغيير البسيط . يوضح الشكل 10.9 كيفية تركيب هذا النوع من المقاييس ، التي بامكانها قياس قيم مختلفة من الضغط وذلك بتغيير مساحة او سمك الغشاء المعدني الذي يحرك الذراع (rod) .



الشكل 10.9 مغير اشارة يستخدم لقياس الضغط .

تحوي هذه التركيبة على اربعة مقاييس اجهاد مقاومين اثنين منها ثابتي القيمة في حين تتغير قيم المقاومتين الآخريين عند تغير القوة المسلطة على العنصر النابض (spring) وتربط مقاييس الاجهاد الاربعة بشكل قنطرة وينستون وتربط بعض المقاومات الصغيرة الاضافية الى اذرع القنطرة وذلك من اجل الحصول على توازن القنطرة في حالة انعدام الحمل ، كما يجري التعويض عن تأثير درجة الحرارة والضغط وتجرى اختبارات دقة المقاييس بصورة عامة عند درجات حرارية متعددة وظروف اخرى يحتمل أن يتعرض لها مغير الاشارة في الناحية العملية ، كما يتم تغليف وحدة التحسس بغلاف محكم بعد تخليتها من الهواء او اضافة غاز الهيليوم الجاف . وتجري عملية التأكد من دقة الجهاز عامة في كل مرحلة من مراحل التصنيع .

لايقتصر استعمال مغيرات الاشارة ذات مقاييس الشد لغرض قياس الضغط فقط اذ يوضح الشكل 10.10 نموذجاً عملياً لتركيب مقياس التعجيل .



الشكل **10.10** مغير اشارة لقياس التعجيل .

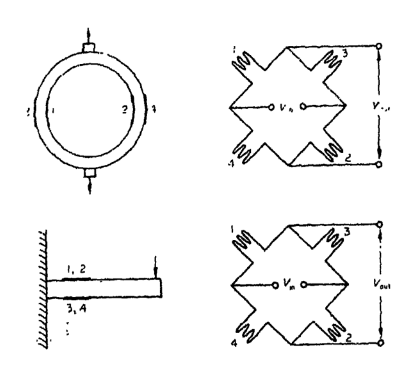
وما دام تحويل عدد كبير من الظواهر الفيزياوية الى قوة متذبذبة ممكناً ، لذلك يمكن ربط احد أنواع مقاييس الشد الى مغير اشارة لقياس الخواص المطلوبة مثل الوزن ، ودرجة الحرارة ودرجة الرطوبة وغيرها .

كما لايقتصر استخدام مقاييس الاجهاد في تركيب مغيرات الاشارة فقط باستخدام المقاييس المربوطة او المعلقة بل يتعدى ذلك الى المقاييس غير المربوطة ويوضح الشكل **10.11** مثالاً لقياس القدرة كما يوضح الشكل **10.12** كيفية قياس العزم .

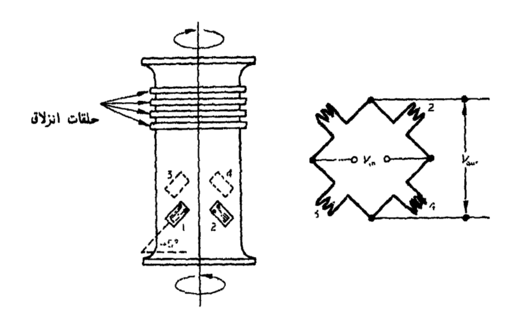
2 . مُغيرات الاشارة المعتمدة على تغيير المقاومة :

مقياس درجة الحرارة المقاومي : تملك بعض المعادن عاملاً حرارياً عالياً للمقاومة (α) مادامت المقاومة R_T للمعدن عند درجة حرارة T تتغير طبقاً للعلاقة

$$R_T = Ro\ (1 + \alpha T)$$



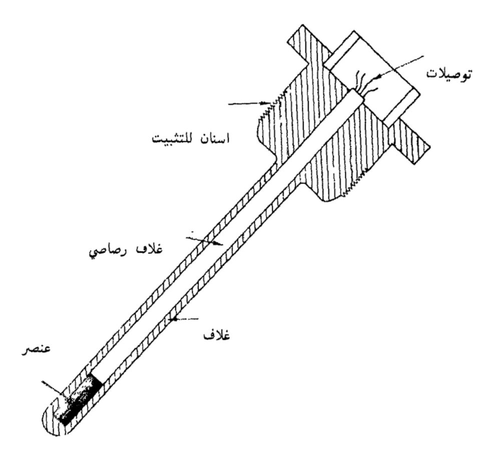
الشكل 10.11 مغير اشارة يستخدم سلك الاجهاد لقياس قوة ميكانيكية .



الشكل (10.12) مغير اشارة يستخدم سلك الاجهاد لقياس عزم محوري .

إذ تمثل Ro قيمة المقاومة عند درجة حرارة تساوي صفر . ويمكن الاستفادة من هذه الخاصية للقياس درجة الحرارة . وتستخدم مقاومة سلك البلاتين عادة في صناعة مقياس درجة الحرارة المقاومي ، الذي يتكون بصيغة مشابهة لمقياس الشد المقاومي .

يوضح عنصر المقاومة بشكل معين يشبه ماهو موضح في الشكل **(10.13)** .



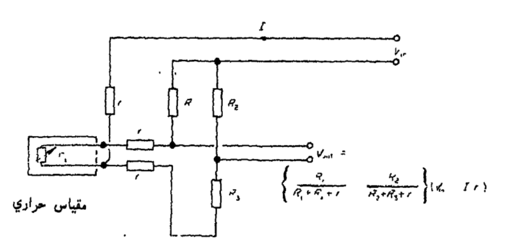
الشكل **10.13** مقياس حراري يعتمد على مقاومة البلاتين .

تكون مقاومة مقياس الحرارة ذات دقة عالية وتقارن عادة مع دقة المقاومات العالمية القياسية ويمكن استخدامها لمقارنة درجات الحرارة وفي حدود **150** الى **1100** درجة حرارة مطلقة (كلفن) . اما استخدامها الرئيس لها في المختبرات هو قياس الدرجات الحرارية الدقيقة .ومع ذلك ربما نحتاج في بعض التطبيقات الصناعية مقاييس حرارية تعتمد على التغيير في مقاومة البلاتين اذ تعطي مثل

هذه المقاييس تغيراً في قيمة مقاومتها يقدر بـ 39٪ عند تغير درجة الحرارة من صفر الى 100 درجة مئوية وتكون مثل هذه الانواع من ناحية اخرى مرتفعة الثمن وسهلة الكسر ويتولد عنها اخطاء في القياس إذا أهمل استخدامها ، كما يكون زمن استجابتها طويلاً نسبياً (0.5 الى 10 ثانية) مقارنة مع مقياس الحرارة من نوع الاقتران الحراري .

يمكن قياس التغيير في مقاومة المقياس الحراري بوساطة احدى الطرائق الآتية :

أ) الاعتماد على دائرة قنطرة وينستون كما هو موضح في الشكل (10.14) التي تعمل على احدى الصيغتين ، الموازنة أو عدم الموازنة .



الشكل 10.14 قنطرة وينستون لقياس مقاومة المقياس للشكل 11.13

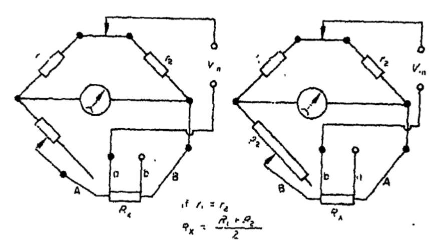
ب) تسليط مصدر تيار ثابت أو مصدر فولتية ثابت وتسجل قراءة الفولتية أو التيار عند تغيير درجة الحرارة .

جـ) استخدام قنطرة سميث . لاحظ الشكل 10.15 .

د) استخدام قنطرة مللر لاحظ الشكل 11.16 .

هـ) استخدام قنطرة الحث المقترن الموضح في الشكل 10.17 .

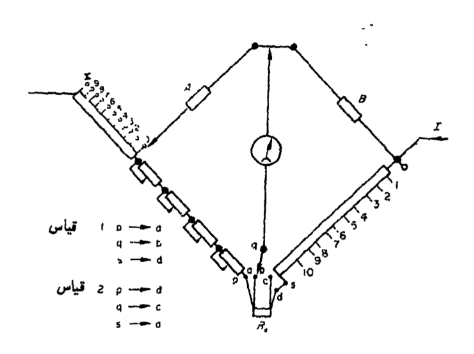
يلاحظ من الطرق والاشكال المذكورة استخدام ثلاث أو أربع نهايات توصيل لربط العنصر المقاومي والغاية من هذه التوصيلات المتعددة إزالة تأثير مقاومة الاسلاك والتوصيلات الاخرى من قراءة المقاييس . وتعد القناطر الثلاث ، سميث



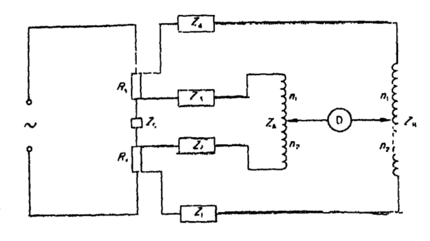
دائرة قياس 2   دائرة القياس 1

تم عملية القياس بخطوتين لازالة تأثير التوصيلات الخارجية

الشكل (10.15) استخدام قنطرة سميث لايجاد العلاقة الحرارية



الشكل (10.16) استخدام قنطرة مللر في قراءة درجة حرارة .



الشكل **10.17** قنطرة الحث المقترن

وملل وقنطرة الاقتران الحثي المباشر ذات دقة عالية يمكن التحسس بتغيرات حرارية قليلة تصل الى **0.0001** درجة مئوية ولذلك يقتصر استخدامها على قياس مقاومات المختبرات القياسية عالية الدقة .

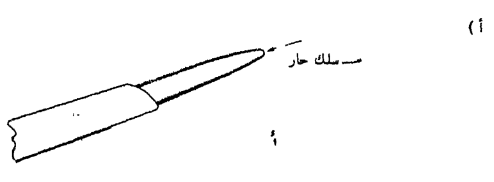
10.6 مقياس سرعة الهواء والغازات : Anemometer

يمكن استخدام هذا النوع من المقاييس والموضح في الشكل **(10.18)** لقياس سرعة الهواء ويتكون مغير الاشارة هذا من مقاومة سلك مصنوع من التنكستن او من سبيكة البلاتين الذي يمر خلاله تيار كهربائي من مصدر تيار ثابت خارجي . وتكون قيمة التيار الكهربائي كافية لرفع درجة حرارة السلك .

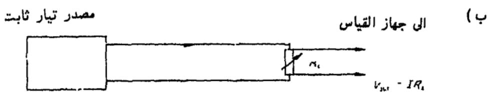
تعتمد مقاومة هذا السلك على سرعة الهواء الذي يخفض من درجة حرارة السلك وبالتالي تغير مقاومته ، واختلاف هبوط الفولتية عبر نهايتيه ويمكن ملاحظة هذا التغيير وقياسه ايضاً ، عند تسليط فولتية الهبوط هذه الى جهاز المرسم الالكتروني او الى جهاز تسجيل الموجات . وبذلك نحصل على تسجيل لسرعة وتغييرات الهواء المار حول السلك .

يكون السلك الحار صغيراً بطول (**1** مللي متر وبقطر **0.1** مللي متر) . وهو قابل الاستجابة للتغيرات السريعة في كمية او سرعة الهواء . ويمكن الحصول على سرعة استجابة عالية باستخدام ربط لا يتغير بدرجة الحرارة كما هو موضح في

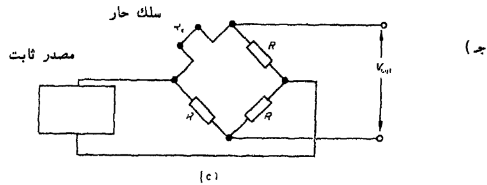
أ)



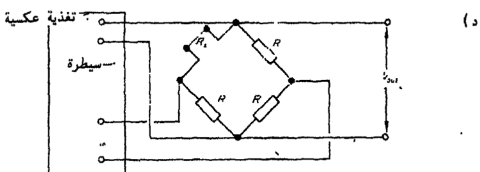
ب)



جـ)



د)



الشكل **10.18** استخدام السلك الحار في قياس سرعة الريح والدوائر التابعة له .
أ) مجس القياس
ب) دائرة قياس بسيطة
جـ) صيغة بديلة لمصدر التيار الثابت
د) القياس عند ثبوت درجة الحرارة .

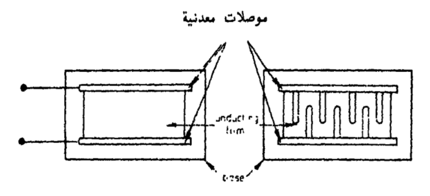
الشكل (10.18 د) اذ تستخدم وحدة سيطرة مع مضخم التغذية العكسية (Feed back amplifier) للتعويض عن تغيرات مقاومة السلك الحار (الناتجة من سريان السوائل) وذلك بتغيير مستوى الدخل للقنطرة وضبط مقاومة السلك الحار بقيمة ابتدائية. وبذلك تتغير فولتية الخرج بصورة تتناسب مع سريان الهواء او اي غاز محيط بالسلك الحار.

مقاييس درجة الرطوبة:

الرطوبة هي مقدار كمية بخار الماء الموحود في غاز معين ويمكن وصفه بعدد من الطرق المختلفة. ولكن اكثر الاوصاف شيوعاً هي تسمية الرطوبة النسبية وتعرف بأنها نسبة ضغط بخار الماء الموجود في الغاز الى ضغط بخار الماء المطلوب لتشبيع الغاز نفسه عند درجة حرارية ثابتة ويطلق عن هذه النسبية بنسبة مئوية وهي تعتمد على درجة الحرارة كذلك.

يمكن تصنيف مقاييس درجة الرطوبة المقاومية باعتاد احدها على احد النوعين الآتيين:

١) يملك النوع الاول عنصر تحسس مقاومي، تتغير مقاومته عند تغيير الرطوبة المحيطة به ويتكون العنصر المقاومي من خليط من ملح hygroscopic مثل كلوريد الليثيوم والكاربون، ويوضع عادة مادة عازلة بين الاقطاب المعدنية كما موضح في الشكل 10.19.



الشكل 10.19 مغير اشارة للتحسس بكمية الرطوبة.

٢) اما النوع الثاني من مقاييس الرطوبة المقاومي فيعتمد على تغيير طول السلك المقاومي نتيجة التغيير في الرطوبة وهو يتكون من شعر بشري او شريحة من الانسجة الحيوانية (gut) ويستخدم لتشغيل مجس الازاحة الذي يمكن أن يكون من نوع الجهاد او من نوع مقياس الشد .

10.7 اجهزة التحسس الضوئي :

تتغير توصيلية الخلية الكهروضوئية اعتماداً على تغيرات شدة الضوء المسلطة عليها . وهو تتكون اما من طبقة معدنية رقيقة مثل كبريتات الرصاص او من مادة البلورة الاحادي مثل الجرمانيوم المضاف اليه بعض الشوائب او كبريتات الكادميوم ، توضع هذه الطبقة الرقيقة بين نهايتي توصيل (التي يربط بها الاسلاك) كما تثبت على لوحة زجاجية . وتربط الخلية الضوئية وتستخدم في الدوائر الكهربائية مثلها في ذلك مقياس السلك الحار .

الشكل 10.18 (ب) (ج) وبذلك يمكن الحصول على اشارات تعتمد على شدة الضوء . ومن اجل الحصول على مغير اشارة يعمل بهذه الطريقة يجب ان يكون هناك وسطاً يقدم بتحويل شدة الاضاءة الساقطة على الخلية الضوئية .

10.8 مغيرات الاشارة الكهرومغناطيسية :

(Electromagnetic Transducer)

تكون هذه الانواع من مغيرات الاشارة بصورة عامة ، ذاتية التوليد اي لا تحتاج الى مصدر خارجي . وتتولد فولتية الخرج بحركة مجال الفيض المغناطيسي المعتمد على ملف النظام ويمكن الحصول على الفيض المغناطيسي عادة مي قطعة حديد مغناطيسية ، في حين يكون الملف اسطوانياً وذي لب هوائي أو ملفوف على لب من الحديد السليكوني .

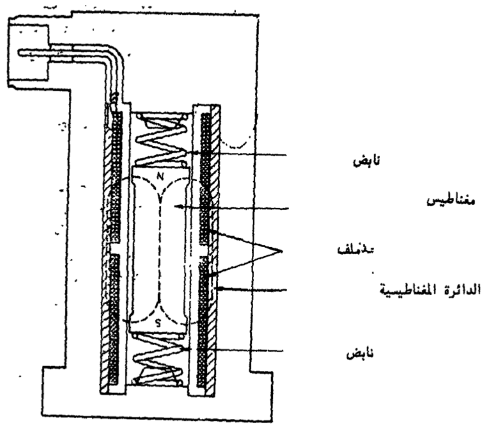
1. مغير اشارة السرعة الخطية :

يتكون ابسط انواع مغيرات الاشارة الكهرومغناطيسية من قطعة ثابتة ومتصلة بمحور طليق يتحرك داخل ملف اسطواني كما هو موضح في الشكل (10.20) .

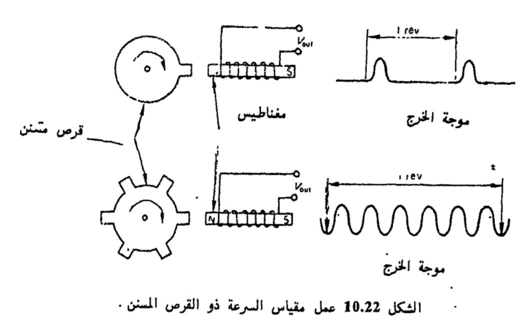


الشكل 10.20 مغير اشارة خطي كهرومغناطيسي .

تتولد فولتية عند طرفي الملف عند حركة مجموعة المحور الطليق والقطعة المغناطيسية ويتناسب اتساع الفولتية المولدة مع سرعة الحركة . يوضح الشكل (10.21) بعض التطورات في هذا النوع اذا ربطت القطعة المغناطيسية بين نابضين ، وثبتت المجموعة على حلقات ذات عامل احتكاك واطيء ، فاذا ربط مثل هذا النوع من مغيرات الاشارة الى جسم متذبذب وبتردد يزيد عن التردد الرنيني الطبيعي لمغير الاشارة ، فسيبدو المغناطيس ثابتاً في محله في حين يتذبذب الملف حوله ، مولداً فولتية خرج يتناسب اتساعها مع قيمة التذبذب (شدته) وبتردد يساوي تردد الحركة التذبذبية نفسها يوضح الشكل (10.22) علاقة الازاحة الجيبية مع التعجيل .



الشكل 10.21 مغير اشارة كهرومغناطيسي لقياس التذبذب .



الشكل 10.22 عمل مقياس السرعة ذو القرص المسنن .

وهناك بعض الامثلة يكون الملف فيها هو الجزء المتحرك كما في مضخم الصوت اذ يتحرك الملف حركة خطية ، وكذلك اجهزة قياس الملف المتحرك اذ تكون الحركة فيها دورانية .

2 . الأجهزة الزاويّة :

لقد اضبح استخدام مغيرات الاشارة في تحديد الحركة الزاوية منتشراً بصورة واسعة من مستويات عديدة . ويقع ضمن هذا النوع اجهزة متعددة مثل تكوميتر **dc** أو غيره الذي يكون المجال المغناطيسي للجزء الساكن فيه متولداً نتيجة وجود المغناطيسية الثابتة أو من مجال الاثارة الناتج عن مرور تيار خلال ملف الاثارة ، في حين تبقى لفيفة الجزء الدوار بالشكل الموجود في مولدة **dc** اي تربط الى الموحد **Commutator** . وتكون فولتية الخرج في التكوميتر متناسبة مع سرعة الدوران حوالي **5** فولت لكل **1000** دورة في الدقيقة عند استخدام نوع المغناطيسية الثابتة وترتفع الى ثلاثة اضعاف ذلك عند استخدام ملف الاثارة . وفي كلتا الحالتين تجب ملاحظة قطبية الفولتية المعتمدة على اتجاه الدوران .

اذا احتوى الجزء الدوار على مجال مغناطيسي ثابت (ناتج عن قطعة المغناطيس) وينتج عن تقاطع هذا المجال مع ملفات الجزء الساكن فولتية **ac** في

نهايات الجزء الساكن ويكون اتساع هذه الفولتية وترددها متناسبين مع سرعة الجزء الدوار . ويكون مفيداً في بعض التطبيقات تغيير التردد بدلاً من مستوى الفولتية . وسبب ذلك أن التردد لا يتغير بتغير ممانعة الدائرة المربوطة بها كما ان التردد لا يتأثر بزيادة الحمل أو تأثيرات درجة الحرارة .

10.9 مقياس السرعة باستخدام الدوار المسنن :

تعد مقاييس السرعة المعتمدة على هذه الفكرة من اكثر الانواع انتشاراً لقياس التردد والسرعة الزاوية . ويتألف الجهاز المذكور من جزء دوار مسنن مصنوع من مادة (الفيرومغناطيسية) ويثبت ملف ساكن الحركة ذو لب حديدي ممغنط قرب محيط الدوار المسنن لنقل عدد النبضات الناتجة من حركة الدوار في الثانية الواحدة . يوضح الشكل 10.22 طريقة عمل مثل مغير الاشارة هذا. اذ تتغير شدة المجال المغناطيسي حول الملف اثناء مرور الاسنان قربه مسبباً حدوث نبضه على طرفي الملف .

واذا استخدم دوار ذو أسنان متعددة فسيتولد نبضة عند مرور كل سن منها قرب الملف فاذا كان عددها ستة مثلاً ، يكون تردد نبضات الخرج مساوياً (6 × السرعة/ الدقيقة/ 60) او (دورة/ دقيقة/ 10) وتزداد قيمة فولتية الخرج عند اقتراب الملف من القرص الدوار أي بتصغير المسافة بين القرص والملف الخاص بنقاط هذه النبضات ، كما تعتمد قيمة فولتية الخرج على سرعة الجزء الدوار وكذلك على زيادة عدد الاسنان في المحيط .

10.10 مغيرات الاشارة ذات المفاعلة المتغيرة :

تستخدم هذه المجموعة من أنواع مغيرات الاشارة التي تولد الازاحة فيها مفاعلة حثية او سعوية في كثير من التطبيقات العملية ، ويجب ان يكون مصد ر التيار او الفولتية الجهزة لهذه الانواع مصدراً متناوباً لعدم امكانية التحسس بتغير قيمة المفاعلة في غير ذلك . وقد يسبب هذا الشرط ان تكون هذه الانواع غير منسجمة مع بقية اجهزة القياس . ومع ذلك يتم صناعة عدد كبير من الانواع في الوقت الحاضر تتمكن من العمل بمصادرة ac او dc اذ تزود بمغيرات تعمل على تحويل dc الى ac عند الادخال كما يمكن تحويل ac الى dc عند

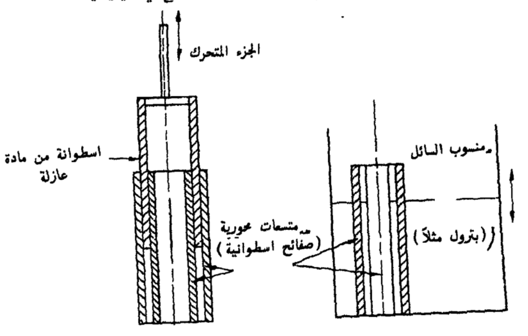
الاخراج اي يمكن لهذه الانواع العمل .بفولتية dc عند ربطها ببقية الاجهزة الا ان مجال عملها الداخلي يكون بفولتية ac ويمكن تصنيف مغيرات الاشارة هذه الى ثلاثة اصناف هي :

0.10.1 أ) التغيرات السعوية :

سبق وأن ذكرنا ان تغيرات معظم الظواهر الفيزياوية يمكن تحويلها الى تغيرات في الازاحة ، وبما ان قيمة المتسعة بين صفيحتين متوازيتين تتناسب مع الازاحة بينها (d) اي ($\varepsilon A/d$) اذ تمثل ε ، ثابت العزل للمادة الموجودة بين الصفيحتين وتمثل A مساحة الصفيحة الواحدة كما تمثل d المسافة او الازاحة بين هاتين الصفيحتين . فعند تغير أي من هذه الكميات يتولد تغيراً في قيمة المتسعة الموجودة بين طرفي الصفيحتين .

أ) تغيير العازل :

يوضح الشكل 10.23 مخططين لنوعين من مغيرات الاشارة المعتمدة على تغيير العازل .يعتمد اولها على انزلاق العازل بين القطبين وهما بشكل اسطوانتين متداخلتين اذ يسبب هذا الانزلاق الى الداخل او الخارج في تغيير قيمة المتسعة .

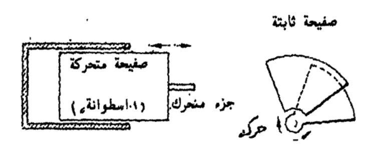


الشكل 10.23 مغيرات اشارة تعتمد على التغير السعوي .

اما النوع الثاني فيعتمد على قياس ارتفاع السائل في دورق ، ومن المهم في كلا النوعين أن يكون ثابت العازلية للمادة الموجودة بين القطبين مختلفة عن عزل الهواء وبذلك نحصل على تغيير واضح في قيمة المتسعة .

ب ـ تغيير مساحة الصفيحة (القطب) :

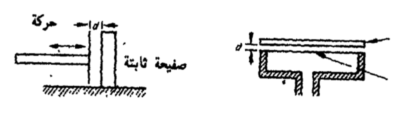
يمكن تغيير مساحة القطب وذلك لتغير قيمة المتسعة بين القطبين ، ويتم هذا بترتيب معين كما هو موضح في الشكل 10.24 فعند تحريك الجزء المتحرك بزاوية معينة يؤدي ذلك الى تغيير قيمة المتسعة عند تغيير الاشارة



الشكل 10.24 مغير اشارة سعوي يستخدم التغير في مساحة صفيحة .

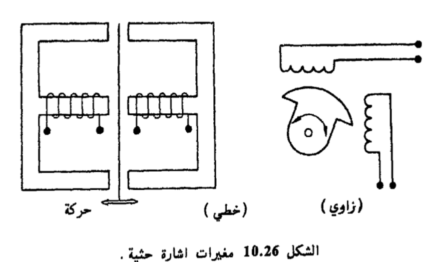
ج) تغيير المسافة بين القطبين :

وهي الطريقة الثالثة المستخدمة في تغيير قيمة المتسعة ويوضح الشكل 10.25 أكثر الطرق شيوعاً في تركيب مثل هذه الاجهزة ومن ميزاتها سهولة تركيبها وحاجتها الى قوة صغيرة جداً لتغيير موضع احد القطبين فقط ويمكن ضبط المسافة بين القطب الثابت والمتحرك بقيمة معينة ولا تتغير كما في حالة بعض انواع مغيرات الاشارة .



الشكل 10.25 مغير اشارة سعوي يعتمد على

إن دوائر القياس المرافقة لمغيرات الاشارة المذكورة تواً تتضمن بعض انواع القناطر او المضخمات بصورة عامة وهي من السهولة في بعض الحالات اذ لا تتجاوز عناصر مثل هذه الدوائر مقاومتين ومتسعتين وهي تشبه الى حد ما دائرة القنطرة الموضحة في الشكل **10.26** اذ استخدمت محولة راديو مع دائرة المقاومة للتعويض عن تأثير المقاومة التسربية المرافقة عادة بمتسعة ومغير الاشارة .



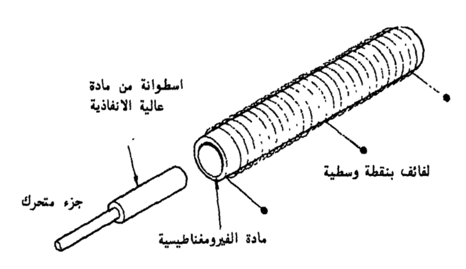
الشكل **10.26** مغيرات اشارة حثية .

وقد يربط هذا النوع من مغيرات الاشارة الى دائرة مذبذب اذ يقوم بتغيير ذبذبة خرج الجهاز عند تغيير متسعة مغير الاشارة وبذلك يمكن قياس الظاهرة المؤثرة على مغير الاشارة .

10.10.2) التغيرات الحثية :

تعتمد قيمة مفاعلة أي ملف على الطريقة التي تقطع فيها لفات الملف خطوط المجال المغناطيسي . ويمكن الحصول على تناسب معين بين التغيير في الفيض المغناطيسي للملف نسبة الى تغير بعض الظواهر المطلوب قياسها ، كما يمكن قياس هذا التعيير في الحاثة بقياس الفرق في الاتساع بوساطة القنطرة المتوازنة او يقاس التغيير في التردد الرنيني في دائرة مذبذب . اما طرق الحصول على هذا التغيير في الحاثة فهي :

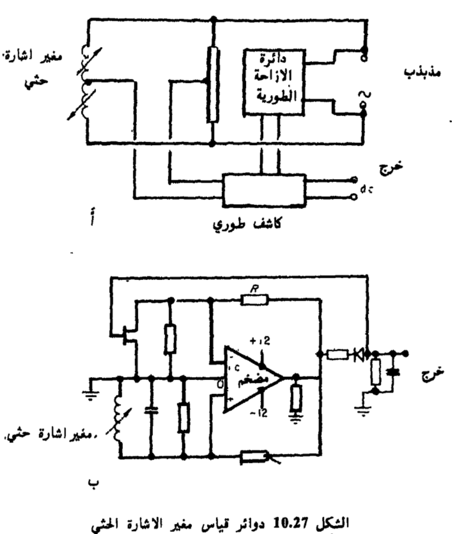
أ) طريقة تغيير معاوقة (المقاومة المغناطيسية) مسار الفيض المغناطيسي وذلك بتحريك موضع المنتج (armature) بصورة تجعل الازاحة متغيرة خطياً او زاوياً . كما هو موضح في الشكل 10.26 . ويكون هذا ملائماً لمغيرات الاشارة الخاصة بقياس مثل هذه الظواهر كالضغط والتعجيل والقوى والازاحة او تغيير الموضع .



الشكل 10.27 مغير اشارة حثي يعتمد على حركة مادة مغناطيسية داخل ملف .

ب) طريقة تحريك الـ Slug المصنوع من مادة حديدية ذات مغناطيسية ثابتة permeance magnet والتي تتحرك داخل محور ملف الملفوف على لب من الفيرومغناطيسية . (لاحظ الشكل 10.27) فاذا وضع الـ slug في المنتصف فأن نصفي الملف سيكونان متساويين وعند حركته الى احد الاتجاهين فسيؤدي ذلك الى زيادة محاثة احد الملفين ونقصان الآخر .

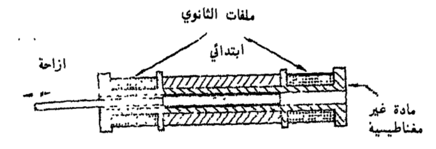
وقد يكون الملف احد اجزاء دائرة قنطرة أو متصلة بدائرة مذبذب (لاحظ الشكل 10.27) إذ أن تغير قيمة الملف يحدث تغيراً في توازن القنطرة أو تغيراً في التردد يتناسبان مع تغيير الملف .



الشكل 10.27 دوائر قياس مغير الاشارة الحثي
(أ) خرج dc
(ب) خرج بتردد متغير .

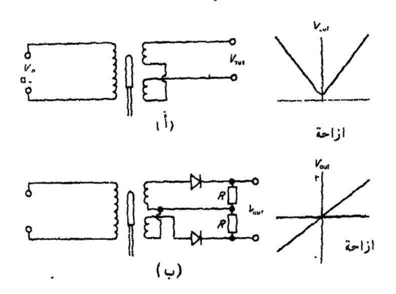
10.11) المحولة التفاضلية :

يحدث تغيير في قيمة المحاثة لهذا النوع من مغيرات الاشارة نتيجة تغيير في الاقتران المتبادل بين اللفائف بدلاً من تغير المحاثة الذاتية للملف ويمكن الحصول على تغير في المحاثة التبادلية هذه ، بتحريك اللب المصنوع من الفيرومغناطيسية داخل تركيبة الملف كما هو موضح في الشكل 10.28 . ويوجد عادة ملف ابتدائي واحد وملفان ثانويان . وتلف الملفات على جسم عازل ذي صفات غير



الشكل **10.28** مغير اشارة يعتمد التبادل الحثي .

مغناطيسية من اجل الحفاظ على خطية الجهاز ، اما في حالة الاجهزة الزاوية فيستخدم فيها لب من مادة الفيرومغناطيسية وتكون الدوائر الكهربائية الخاصة بالمحولة التفاضلية هي كما موضح في الشكل **10.29**(أ) والتي تعطي فولتية **ac** عند الخرج وهي تزداد في اتساعها عند اقتراب الازاحة من الصفر . ويمكن تطوير مثل هذه الدائرة الى دائرة اخرى تعطي فولتية مباشرة عند الخرج . وتعتمد قطبية الفولتية على اتجاه الازاحة كما في الشكل (**10.29** ب) اما من الناحية العملية فتكون الدوائر اكثر تعقيداً .



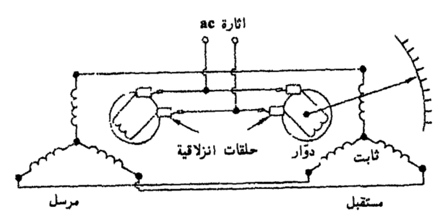
الشكل **10.29** دوائر عملية تستخدم مع مغيرات الاشارة المحولة التفاضلية .

يمتاز مغير اشارة المحولة التفاضلية بأنه جهاز منخفض الممانعة وهو قادر على قياس الحالات المستقرة ، وكذلك الازاحات المتغيرة في 2 ملم الى 50 سم وكذلك

فهو يستخدم لقياس عدد كبير من الكميات او الظواهر وذلك بعد تحويل التغيرات فيها الى ازاحات متغيرة .

10.12) المتزامن : (Synchro)

يدعى احد انواع مغيرات الاشارة المستخدمة في قياس الموضع الزاوي او الحركة بالمتزامن (Synchro) ويستخدم فيه وحدتان متشابهتان ، تدعى احداهما بالمرسلة والثانية بالمستقبلة . وتتكون كل منها من جزء دوار (rotor) محوري وجزء ساكن (stator) ذي ملفات ثلاث موزعة ببعد 120 درجة (لاحظ الشكل 10.30) وعند التشغيل يزود الدوار في كل وحدة بتيار متناوب من خلال الحلقات الانزلاقية وبتردد يتراوح بين (50 الى 400 هرتز) فاذا كان الدوار في كل جزء في موضع واحد نسبة الى لفائف الجزء الساكن ، تكون قيمة التيار بينهما مساوية للصفر . اما اذا تحرك الدوار في الجهة المرسلة نسبة للفيفة الجزء الساكن . ففي هذه الحالة تختلف الفولتيات المحتثة في الجزء الساكن للطرفين أي سيمر تياره بقيمة معينة في الاسلاك الموصلة بينهما . تولد هذه التيارات عزماً في دوار الطرف المستلم مسببة حركة الدوار تبعاً لدوار الجزء المرسل .

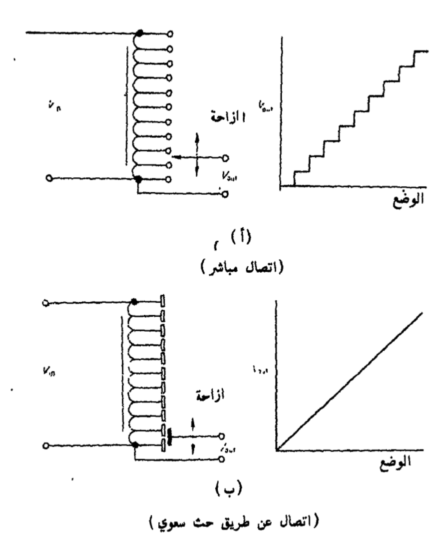


الشكل 10.30 نظام قياس « المتزامن »

تعتمد دقة الموضع لهذا النظام على الحلقات الحاملة للدوار (bearings) في طرف الاستلام .

10.13 المحولة الذاتية :

من الصعب تصنيف هذا النوع من مغيرات الاشارة بأحد الاصناف الواردة سابقاً إذ تستخدم المحولة الذاتية الاقتران الكهرومغناطيسي لتجزئة او خفض الفولتية المسلطة (ac) ويمكن الحصول على نعومة في هذا التغيير باضافة متسعة كما هو موضح في الشكل (10.31 ب) . ويكون لهذا النوع من مغيرات الاشارة استجابة جيدة بالنسبة لتطبيقات المكائن الكهربائية وسهل التحكم بها .



الشكل 10.31 مغير اشارة يعتمد على وضع النقطة المتحركة في محولة ذاتية .

10.14 اجهزة شبه الموصلات:

تتأثر الخواص الكهربائية للمواد شبه الموصلة بتغيير درجة الحرارة ، وشدة الضوء والقوة المسلطة عليها . وتختلف دقة المواد الموصلة هذه بدرجة اكبر من بقية المعادن وقد تولد هذه النقطة مشكلة اخرى في بعض التطبيقات ، فمثلاً عند استخدام شبه الموصل لقياس شدة الاجهاد نلاحظ أن اختلاف درجة الحرارة تؤثر على قيمة الناتج ولهذا نحتاج الى اضافة عناصر اخرى او دوائر كهربائية للتعويض عن الاختلاف .

10.15 المقاومة الحرارية Thermistor

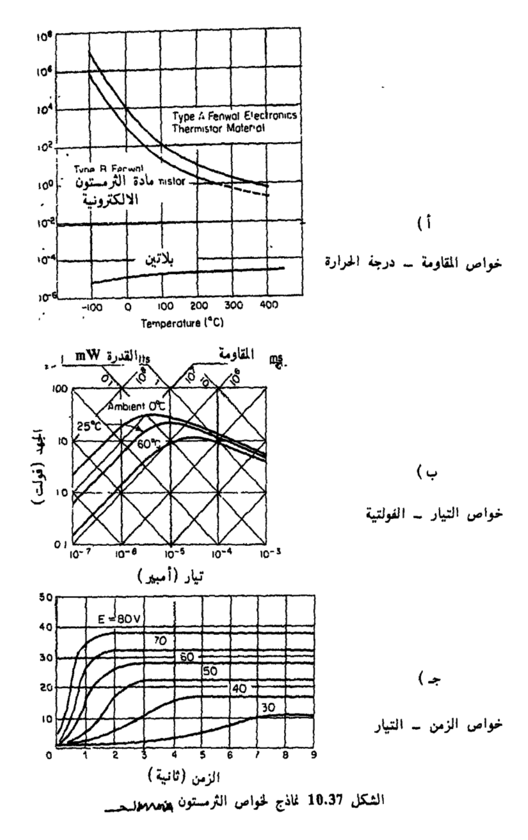
إن المقاومات الحرارية أو الثرمستون هي مركبات شبه موصلة ولها سلوك مقاومة ذات عامل حراري سالب ، فمثلاً تنخفض قيمة المقاومة الحرارية في درجة حرارة الغرفة بقيمة 6% من القيمة الكلية عند ارتفاع درجة الحرارة بدرجة مئوية واحدة . وتبعاً لهذه الحساسية العالية للثرمستون بالنسبة لاختلاف درجة الحرارة فقد جعلت من الثرمستون منها عنصراً مناسباً في قياسات درجة الحرارة والسيطرة عليها أو للتعويض عن تأثيرها ، كما يمكنها العمل في درجات حرارية مختلفة . تتكون مادة الثرمستون من اكاسيد بعض (المعادن مثل المغنيسيوم والنيكل والكوبلت والنحاس والحديد واليورانيوم) . وتتراوح مقاومتها بين 0.5 أوم الى 75 كيلوأوم وهي متوفرة باشكال مختلفة اذ تصنع بشكل اسطواني يشبه المقاومات الاعتيادية أو بشكل اقراص باحجام 0.15 ملم الى 25 ملم وقد يمكن في بعض الاوقات ربط عدد منها على التوالي أو التوازي وذلك لتوزيع القدرة على عدد منها وهناك ثلاث خواص مهمة للمقاومات الحرارية تجعلها مفيدة في القياسات وتطبيقات السيطرة . وهذه الخواص هي :

أ ـ الخواص المقاومية نسبة الى درجة الحرارة .

ب ـ خواص التيار ـ الفولتية .

جـ ـ خواص التيار ـ الزمن .

يوضح الشكل 11.37 نماذجاً لهذه الخواص :

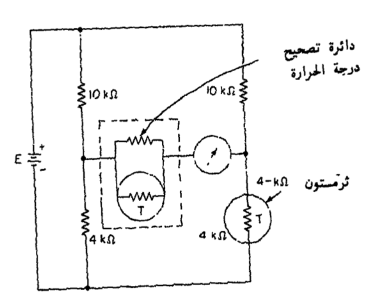


الشكل 10.37 نماذج لخواص الثرمستون

تطبيقات المقاومة الحرارية :

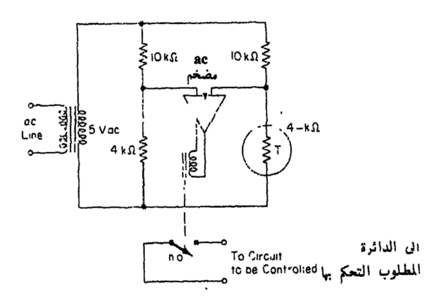
على الرغم من أن المقاومات الحرارية هي من اكثر العناصر شيوعاً في تطبيقات السيطرة على درجة الحرارة ، إلا أنه يمكن استخدامها في تطبيقات اخرى مختلفة ويمكن توضيح عدد من هذه التطبيقات في هذه الفقرة .

تتغير مقاومة الثرمستون تغيراً كبيراً في كل تغير في درجة الحرارة (وتدعى بالحساسية) مما يجعل هذا النوع من المقاومات مناسبة في مغيرات الاشارة الخاصة بالتحسس وقياس درجة الحرارة . فمثلاً تكون احد انواع المقاومات الحرارية المستخدمة في الصناعة ذات مقاومة 2000 أوم عند درجة 25 مئوية ولها عامل حراري بمقدار 2.9 % لكل درجة حرارية مئوية ، اي تعطي 78 أوم لكل درجة مئوية . فعند ربط هذه المقاومة الحرارية على التوالي في دائرة تحوي على بطارية ومقياس تيار ، يؤدي الاختلاف في المقاومة الحرارية نتيجة الحرارة تغيراً في التيار المار في الدائرة ، ويمكن تقسيم لوحة مقياس التيار نسبة لدرجة الحرارة وقد يمكننا تحسس التغير في درجة الحرارة وبدقة تصل الى 0.1 درجة مئوية . كما يمكن الحصول على حساسية عالية في القياس عند استخدام القنطرة الموضحة في الشكل 10.38 اذ يمكن بوساطة هذه الدائرة وباستخدام المقاومة الحرارية 4 كيلوأوم من الاشارة الى اي تغيير في درجة الحرارة وبدقة قد تصل الى 0.005 درجة مئوية .



الشكل 10.38 قياس درجة الحرارة بوساطة ثرمستون .

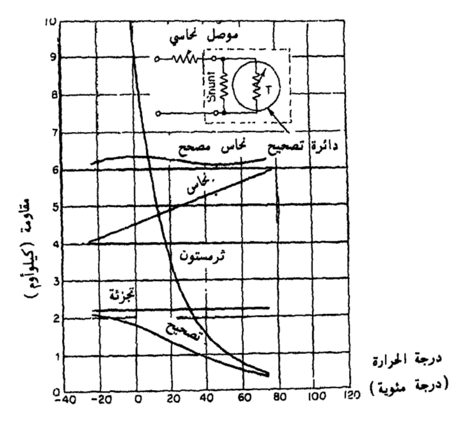
وبهذه الدقة العالية مع استخدام مقاومة حرارية عالية القيمة (قد تصل الى 100 كيلوأوم) نجد أن المقاومة الحرارية عنصر ملائم يمكن استخدامه للقياس عن بعد والتحكم عن بعد . ويمكن بناء دائرة الكترونية بسيطة للسيطرة على درجة الحرارة وكذلك بوضع مرحلة بدلاً من مقياس التيار الموضح في الشكل 10.38 أي يصبح الشكل النموذجي لدائرة السيطرة الحرارية كما هو موضح في الشكل 10.39 إذ تسلط الفولتية الناتجة من عدم توازن القنطرة الى مضخم ac الذي يسوق مرحلة او عنصر من عائلة SCR . التي تقوم بدورها بتوصيل دائرة القدرة المتصلة بالعنصر الحراري الخاص بالتدفئة . ويمكن لهذه الدائرة العمل بدقة عالية جداً وبتحسس حراري عالٍ .



الشكل 10.39 دائرة تحكم تعتمد على درجة الحرارة .

ومن ميزات انظمة السيطرة التي تحوي على مقاومات حرارية (ثرمستون) أن لها حساسية عالية وذات استقرارية وسرعة في العمل فضلاً عن حاجتها الى دوائر سهلة جداً . تستخدم المقاومات الحرارية (الثرمستون) ذات العامل الحراري السالب (أي نقصان قيمة المقاومة بارتفاع درجة الحرارة) في التعويض عن تأثير درجة الحرارة على الموصلات او شبه الموصلات والتي بكون عاملها الحراري موجباً . وهي نقطة مهمة في عمل الدوائر الالكترونية واستقرارها للحصول على ادائها الجيد . وتستخدم الثرمستون ذات الشكل القرصي في درجات

حرارية لا تزيد عن **125** درجة مئوية وعند ربط هذا النوع في دائرة معينة قرب الملف النحاسي للمقاييس مثلاً ، يمكن لهذه الدائرة العمل بصورة جيدة واعطاء مقاومة كلية ثابتة على الرغم من تغيير درجة الحرارة . ويوضح الشكل **(10.40)** منحنيات التغير في مقاومة النحاس واختلاف درجة الحرارة وكيفية التعويض عن هذا الاختلاف في المقاومة باستخدام المقاومة الحرارية .



الشكل 10.40 دائرة تصحيح درجة الحرارة تستخدم الثرمستون .

وهناك تطبيقات اخرى تستخدم فيها مقاومتان حراريتان توضعان في تجويفين منفصلين في كتلة من الخارصين . وتشكل هاتان المقاومتان من جهة اخرى أذرعاً لقنطرة كهربائية وتكون هذه القنطرة متوازنة عند مرور الهواء في كلا التجويفين بصورة متساوية . اما اذا مر غاز غير الهواء وبتوصيلية مختلفة عنه (أقل توصيلة مثلاً) فستخرج القنطرة من التوازن وذلك لارتفاع درجة حرارة المقاومة الحرارية القريبة من الغاز وانخفاض قيمتها المقاومية . وتمثل قيمة عدم

الاتزان درجة توصيلية الغاز ويمكن كذلك ضبط المقياس بتدرج معين لتحديد درجة توصيل أي غاز آخر .

اذا استخدمت قنطرة واحدة ذات تجويفين واغلق احد التجويفان في حين ربط الآخر بانبوب صغير ، عند ذلك يمكن استخدام هذا الترتيب مقياساً لكمية الهواء او الغاز الحار في الانبوب إذ يمكن موازنة القنطرة في حالة عدم مرور الغاز اما عند مروره فسيؤدي ذلك الى خفض درجة الحرارة المقاومة الحرارية المتصلة بالانبوب مما يجعل القنطرة خارجة من التوازن وتتناسب كمية الغاز المار مع كمية الانخفاض بدرجة الحرارة ويمكن ضبط المقياس نسبة لكمية الغاز مباشرة .

10.15 مغيرات الاشارة الكهروضوئية :

العناصر الكهروضوئية هي مركبات يعتمد تشغيلها على الطاقة المشعة او الضوء وهي تعمل في عرض حزمة واسعة من الترددات فهي حساسة لالوان الطيف اكثر من العين البشرية ويمكنها العمل في مجالي الاشعة فوق البنفسجية والاشعة تحت الحمراء بكفاءة عالية .

ولقد دخلت هذه المركبات الكهروضوئية في تطبيقات هندسية متعددة وسنحاول من هذا الفصل الاشارة باختصار الى انواع المركبات هذه مع عدد من التطبيقات .

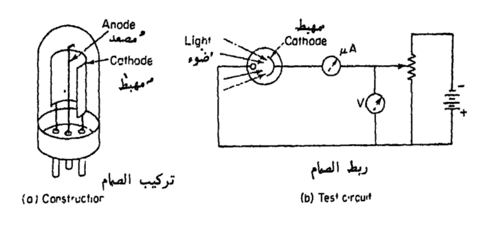
أ) الصمامات الضوئية المخلاة :

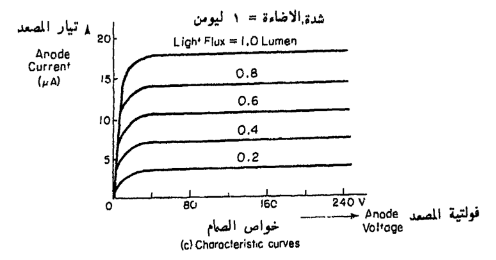
وهي تستخدم في التطبيقات التي تكون الاشارة الضوتية فيها قصيرة أو ذات تردد عالٍ .

يعتمد الصمام الضوئي في عمله على خاصية الاشعاع الضوئي ولذلك يدعى بالصمام الضوئي ونتيجة لسقوط الضوء على الكاثود تنبعث منه عدد من الالكترونات يمكن السيطرة عليها بكمية الضوء أو الطاقة الضوئية الساقطة على الكاثود .

يوضح الشكل **10.41** شكل الصمام ومكوناته وكذلك طريقة ربطه في دائرة سهلة . يكون الكاثود بشكل نصف اسطواني في حين يكون الانود مكوناً من

سلك يوضع امام الكاثود ويوضح كلا العنصرين في زجاجة مفرغة من الهواء . وعند تسليط فولتية ثابتة بين المهبط والمصعد يمر التيار في الدائرة متناسباً في قيمته مع كمية الضوء أو شدة الضوء الساقطة عليه . يوضح الشكل 10.41 جـ الخواص الاساسية لصمام مفرغ من الهواء . ويكون التيار الخارج من الانوبة قليل نسبياً (في حدود 4-10 مايكروأمبير) لذا يفضل عادة ربط الصمام بمصمم يعمل على تكبير الاشارة الخارجة لنتمكن من الاستفادة منه .

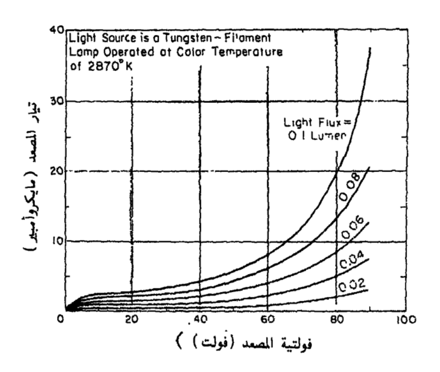




الشكل 10.41 مكونات الصمام الضوئي وخواصه

ب) الصمام الضوئي المملوء بالغاز :

يتكون هذا النوع من الصمامات الضوئية بشكل يشابه النوع الخلي من الهواء فيما عدا وجود غاز خامل في الانبوبة المحيطة بالكاثود والانود . ويستخدم عادة غاز الاركون وبضغط منخفض جداً . ينبعث الالكترون من الكاثود بتأثير الطاقة الضوئية المسلطة ويتجه بتعجيل معين خلال الغاز بتأثير الفولتية المسلطة . فاذا زادت طاقة الالكترون عن الطاقة اللازمة لتأين الغاز (فولتية التأين) يؤدي ذلك الى تأين الغاز نفسه ويزداد التيار المار بين الكاثود والانود عند زيادة قيمة الفولتية المسلطة بينهما عن فولتية التأين . اما اذا ازدادت الفولتية الى قيمة عالية جداً يصبح من الصعب السيطرة على كمية التيار المار في الصمام وبتأين الغاز بأجمعه ويصبح الصمام متوهجاً ، ويجب تجنب هذه الحالة اذ قد يؤدي ذلك الى تلف الصمام ويمكن ملاحظة خواص الفولتية ـ التيار للصمام الغازي بملاحظة منحنيات الشكل 10.42 وبمقارنتها مع الصمام الضوئي الخلي .

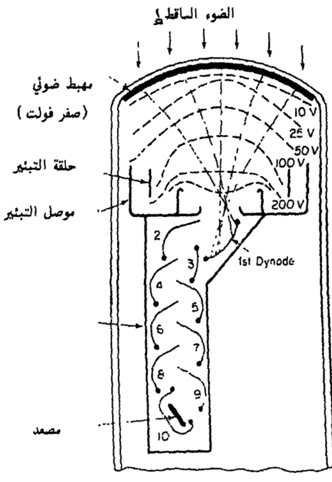


الشكل 10.42 منحنيات وخواص الصمام الضوئي الغازي .

الصمام الضوئي المضخم :

يستخدم هذا النوع من الصمامات الضوئية عند الحاجة الى كشف الضوء الضعيف جداً . ويستخدم في هذا الصمام في عمله ظاهرة الانبعاث الالكتروني الثانوي والذي يؤدي الى زيادة وتضخم التيار بعامل يزيد عن 10^6 وبهذا يصبح مفيداً جداً في كشف المستوى الضوئي المنخفض والاستفادة منه تنبعث الالكترونات من الكاثود الضوئي وبتعجيل المجال الكهربائي باتجاه سطح آخر يدعى بالدانيود **dynode** .

فاذا كانت الفولتية المسلطة على الدانيود بقيمة مناسبة فينبعث منها ثلاثة الى ستة الكترونات ثانوية عند ارتطام الالكترون القادم اليها ، ويتم تركيز الالكترونات الثانوية في اتجاه آخر لترتطم بداينود ثانٍ وتكرر العملية . وبهذا يمكن مضاعفة التيار المنبعث من الكاثود الاصلي اضعافاً عديدة .



الشكل **10.43** مضاعف التيار الضوئي .

يوضح الشكل **10.43** مضاعف التيار الضوئي ذي عشرة داينودات ويمثل السطح الاخير الأنود الذي يخرج منه النيار الى الدائرة الخارجية .

يعتمد الكسب في هذا الصمام على الداينود وعلى خواص المادة التي صُنع منها الداينود ويتم تقسيم الفولتية المسلطة بصورة مدرجة على الدانيود اي بعشر مراحل للنوع المذكور في الشكل **10.43** .

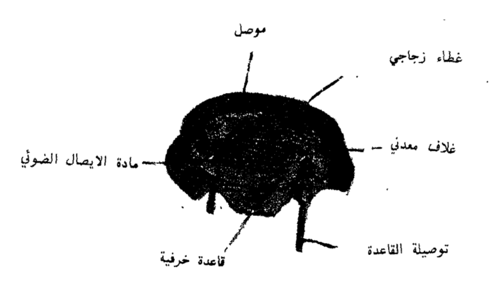
ويجب ابعاد هذا الصمام عن المجالات الكهربائية المختلفة لانها تؤثر على عمله وتؤدي الى انحراف الالكترونات عن مسارها الصحيح . ومن اجل ذلك يغلف الصمام عادة بشبكة معدنية .

خلايا التوصيل الضوئية :

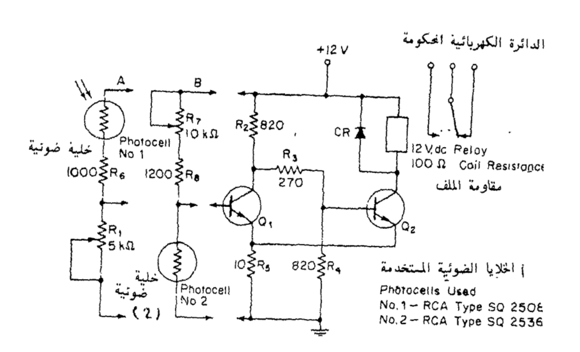
تعتمد درجة توصيل مثل هذه الخلايا على الاشعاعات الكهرومغناطيسية الساقطة عليها وتصنع هذه الخلايا عادة من مواد شبه الموصلة وتعتمد في توصيلها الكهربائي على الضوء مثل كبريتيد الكادميوم ، والجرمانيوم والسليكون ويستخدم النوع الاول في التطبيقات المطلوب عرض نتائجها على العين البشرية مثل الكاميرات وغيرها لأن استجابة هذا النوع من الخلايا قريب جداً من استجابة العين البشرية .

يتكون هذا النوع من الخلايا من قطعة خزفية يوضع عليها مادة التوصيل الضوئية وتغطى بلوح زجاجي لمنع الاتربة عنها يوضح الشكل **(10.44)** مقطعاً للخلية الضوئية .

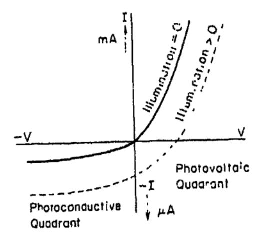
يوضح الشكل **(10.45)** دائرة للسيطرة على جهاز معين يعتمد تشغليها على تغيير انحياز الترانستوز من خلال تغيير المقاومة المربوطة في قاعدته اعتماداً على الضوء الساقط عليها . وينتج عنها تشغيل المرحلة التي توصل او تفصل دائرة القدرة الكهربائية .
يعتمد تشغيل الخلية على حساسيتها للضوء وعلى خواصها (الفولتية ـ والتيار) ويوضح الشكل **(10.46)** نموذجاً لهذه الخواص ويشير الخط الصلب الى علاقة التيار والفولتية بدون تسليط أية طاقة ضوئية ويزحف هذا المنحني الى الاسفل عند تسليط الضوء على وصلة الـ **PN** .



الشكل **10.44** مقطع للخلية الضوئية .



الشكل (10.45) دائرة سيطرة تستخدم الخلية الضوئية .



الشكل (10.46) نموذج لخواص الفولتية ـ التيار.

تكون الاستجابة الزمنية للخلية الضوئية عالية جداً مما يجعل استخدامها في تطبيقات الترددات العالية ممكناً حتى في المجال الترددي الاعلى من المجال المسموح.

خلايا الفولتية الضوئية : ـ

يستخدم هذا النوع من الخلايا في عدد من التطبيقات وهي تعمل بفكرة تحويل الطاقة الضوئية للشمس مثلاً الى طاقة كهربائية، وتتكون من طبقة من السيليكون البلوري نوع ـ P وبمساحة تصل الى 2 سم مربع. يوضع فوقها طبقة رقيقة (0.5 مايكرون) من مادة نوع ـ N. وتعتمد كفاءة تحويل الطاقة على مكونات الاشعة الساقطة وشدتها.

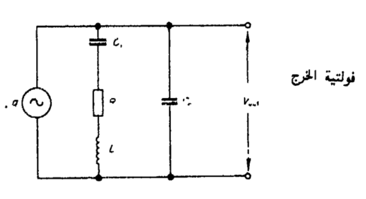
يمكن استخدام هذا النوع في الصناعة لقراءة الطاقات المثقبة مثلاً وذلك بالتحسس بالضوء المار خلال الثقوب، فضلاً عن كونها مصدر للطاقة الكهربائية يمكن الاستفادة منه في بعض الاجهزة الاخرى.

10.16 مغيرات الاشارة المعتمدة على كهربائية الاجهاد :
Piezoeletric

يعتمد هذا النوع من مغيرات الاشارة على خاصية الكهربائية الاجهادية لبعض المواد البلورية والخزف في توليد الاشارات الكهربائية .
إذ يمكن الحصول على طاقة كهربائية بين طرفي البلورة عند تسليط اجهاد معين عليها والعكس صحيح كذلك .

اما كيفية تسليط القوة الميكانيكية وقيمتها فيعتمد على نوع البلورة والغرض من استخدامها ونترك تفصيل ذلك في مصادر الموضوع المذكور .

تكون ممانعة الخرج للبلورات الاجهاد الكهربائي كافة عالية جداً ولذلك يجب ربط مغير الاشارة باجهزة اخرى ذات ممانعة ادخال عالية مثل مضخمات العمليات وغيرها . ومن مساوىء استخدامها ارتفاع ثمنها نسبياً . يوضح الشكل (10.47) الدائرة الكهربائية المكافئة لمغير الاشارة البلوري ويمكن الاستفادة من هذا المخطط لمعرفة تأثيره على دوائر الترددات العالية .



الشكل 10.47 الدائرة المكافئة لمغير الاشارة البلوري .

10.17 مغيرات الاشارة المعتمدة على العناصر الكهروحرارية :

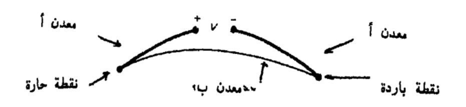
لاحظ العالم (جون سيباك) **John Seebask** انحراف البوصلة المغناطيسية عند وضعها قرب دائرة مكونة من سلكين موصلين مختلفين المعدن . وينتج انحراف البوصلة الكهربائية عند تسليط حرارة على جزء من الدائرة أي تشير الى مرور تيار كهربائي .

كما لاحظ العالم الفرنسي جارلس بلتير وهو صانع ساعات أن مرور تيار في موصلين مختلفي المعدن يؤدي الى تغيير درجة حرارتيهما . ولوحظ أن درجات الحرارة في اطراف الاسلاك مختلفة ايضاً . فالنقاط الواقعة على جهة الطرف السالب للمصدر تكون درجة حرارتها منخفضة مقارنة بالنقاط الواقعة على جهد الطرف الموجب .

الاقتران الحراري/

تعتمد فكرة الاقتران الحراري على ظاهرة سيباك اذ تكون هذه الطريقة اكثر الطرق شيوعاً في القياس الحراري .

يتكون هذا النوع من مغيرات الاشارة من زوج من الاسلاك أو القضبان مربوطان من نهايتيهما بصورة محكمة . تستخدم احدى النهايتين كنقطة حارة (تحسس) في حين تستخدم النهاية الاخرى كنقطة باردة . يوضح الشكل 10.48 مخططاً لهذا النوع من مغيرات الاشارة يمكن الحصول على نقطة باردة باذابة الثلج ولكن مثل هذه العملية ليست مناسبة دائماً فمثلاً اذا استخدمت طريقة الاقتران الحراري لقياس درجة 1000 كلفن فان التغير الذي يحصل في (5 درجات مئوية مثلاً) ليس ذا أهمية تذكر على دقة القياس . ولذلك يمكن استخدام درجة حرارة الغرفة الاعتيادية مرجعاً في اغلب التطبيقات .

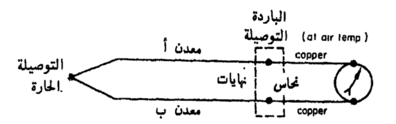


الشكل 10.48 مغير اشارة نوع الاقتران الحراري .

قياس طرفي سلكي الاقتران الحراري :

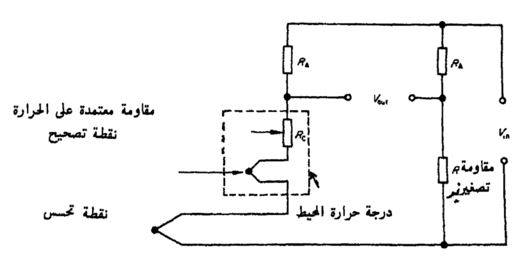
يستخدم الاقتران الحراري كمصدر للفولتية ويمكن قياس هذه الفولتية بوساطة مقياس فولتية ذات ممانعة ادخال عالية مثل مقياس الفولتية الرقمي

وتعتمد قيمة الفولتية (قراءة المقياس) على درجة الحرارة ومن جانب آخر يمكن استخدام مقياس تيار ذات ممانعة واطئة لاكمال دائرة التيار، كما هو موضح في الشكل 10.49 وتعتمد قيمة التيار المار في هذه الحالة على درجة الحرارة كذلك.



الشكل 10.49 قياس تيار عناصر الاقتران الحراري بوساطة مقياس تيار.

عند قياس درجات حرارية قريبة من درجة حرارة المحيط بوساطة الاقتران الحراري، يجب ربط مقاومات تعويض **Compensating** للحصول على مرجع ثابت تقاري به القياسات يوضح الشكل 10.50 طريقة الحصول على مرجع ثابت في دائرة قنطرة حساسة يحوي على مقاومة الاقتران الحراري. اذ يتم التعويض عن تغيرات درجة حرارة المحيط بتغير المقاومة Rc ونقطة التحسس.



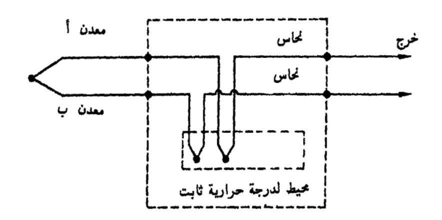
الشكل 10.50 الحصول على مرجع ثابت في دائرة المقترن الحراري.

معادن الاقتران الحراري :

يستخدم عدد من المعادن في صناعة الاقتران الحراري واكثر هذه المعادن شيوعاً في التطبيقات العملية هي : ـ

١ ـ النحاس 0 ——» 370 درجة مئوية
٢ ـ الحديد 0 ——» 760 درجة مئوية
٣ ـ نيكل/ المنيوم 0 ——» 1260 درجة مئوية
٤ ـ تنكستون الى 2760 درجة مئوية
٥ ـ سبيكة البلاتين/ روديوم يمكن استخدامها الى 1750 درجة مئوية

يجب عزل سلكي الاقتران الحراري عن بعضها . كما يجب الحفاظ على صلابة وجودة العازل وخاصة في الدرجات الحرارية العالية . تتوفر انواع مختلفة من اسلاك الاقتران الحراري من ناحية الشكل والحجم (0.75 ملم الى 3.0 ملم) . يمكن ربط عدد من اسلاك الاقتران الحراري (وذات نوع واحد) مع بعضها على التوالي إذ تكون النقاط الحارة بدرجة حرارية واحدة كما تكون درجة حرارة النقاط الباردة متساوية . اما فولتية الخرج فتساوي فولتية سلك اقتران حراري واحد مضروباً بعدد توصيلات الاقتران الحراري في المجموعة يوضح الشكل 10.51 طريقة ربط عدد من اسلاك الاقتران الحراري للتحسس بدرجة الحرارة من جميع الاتجاهات وإن فكرة الاقتران الحراري هي أساس التصوير بالاشعة تحت الحمراء .



الشكل 10.51 طريقة ربط عدد من اسلاك الاقتران الحراري .

الفصل العاشر

1 ـ ماهي المواصفات الرئيسة المطلوبة في عنصر مغير الاشارة .

2 ـ ارسم الدائرة الكهربائية المكافئة لجهاز قياس التعجيل الموضح في الشكل واكتب المعادلة التفاضلية الخاصة بها مع توضيح العلاقات الميكانيكة والكهربائية للمتغيرات .

3 ـ اذكر انواع مغير الاشارة الكهربائي لقياس الضغط موضحاً ذلك بتطبيق لكل منها .

4 ـ ماهو الفرق بين خلايا التوصيل الضوئية وخلايا الفولتية الضوئية ارسم دائرة كهربائية لتوضيح كيفية الاستفادة من كل منها .

5 ـ ربط مغير اشارة نوع مقاومة الاجهاد ذو عامل اجهاد 2.4 على قضيب حديدي ذي عامل مرونة 2×10^6 Kg / cm^2 . فاذا كانت مقاومة عنصر الاجهاد 120 أوم وتزداد الى 120.1 أوم عند تسليط شد على القضيب . احسب الشد عند النقطة المربوط بها عنصر الاجهاد .

6 ـ ماهو عنصر الاقتران الحراري ، وما هي المعادن المستخدمة فيه وكيف يتم الاستفاذة منه في القياس الدقيق لدرجة الحرارة .

7 ـ اشرح اجزاء المتزامن موضحاً عمله بمخطط كيف يمكن الاستفادة منه في النواحي العملية .

8 ـ عرّف مغيرات الاشارة ذات المفاعلة المتغيرة والسعة المتغيرة واشرح عملها وأنواعها وكيفية ربطها مع اجهزة القياس .

9 ـ ماهي المحولة التفاضلية وكيف تستخدم عنصراً في القياس .

المصادر

1- Electrical Indicating Instruments, By G.F. TAGG. Butterworth Co (Publishers) Ltd 1974 first ed.

2- Electrical Measurement Analysis, By Ernest Frank McGraw-Hill Book Co. 1959. first ed.

3- Basic Electrical Measurements, By Melville B. Stout Prentice. Hall. Inc 1960 2nd ed. Englewood cliffs, N.J.

4- Electrical Transducers for Industrial Measurement, By P.H. Mansfield
Butterworths tco. (Publishers) Ltd 1973. 2nd ed.

5- Electrical Measurements and Measuring Instruments, By E.W. Golding and F.C. Widds.
The Pitman press. 1962 5th ed.

6- Electrical Measurements (including Measuring instruments.)
By Umesh Sinha
Tech. India Publications, 1978 1st ed

7- Basic Electricity and Electrical Measurements,
By B.R. Sharma S.K. Girdher S.M. Dhir and G.C. Garg
Tech, India Publicafions, 1978 1st ed.

8- Electronic Insturmentation and measurement Techniques, W.D. Cooper, A.D. Helfick. prentic-Hall-1985.

9- Electrical Instrumentation, B.A. Gregory Macmillan-1973.

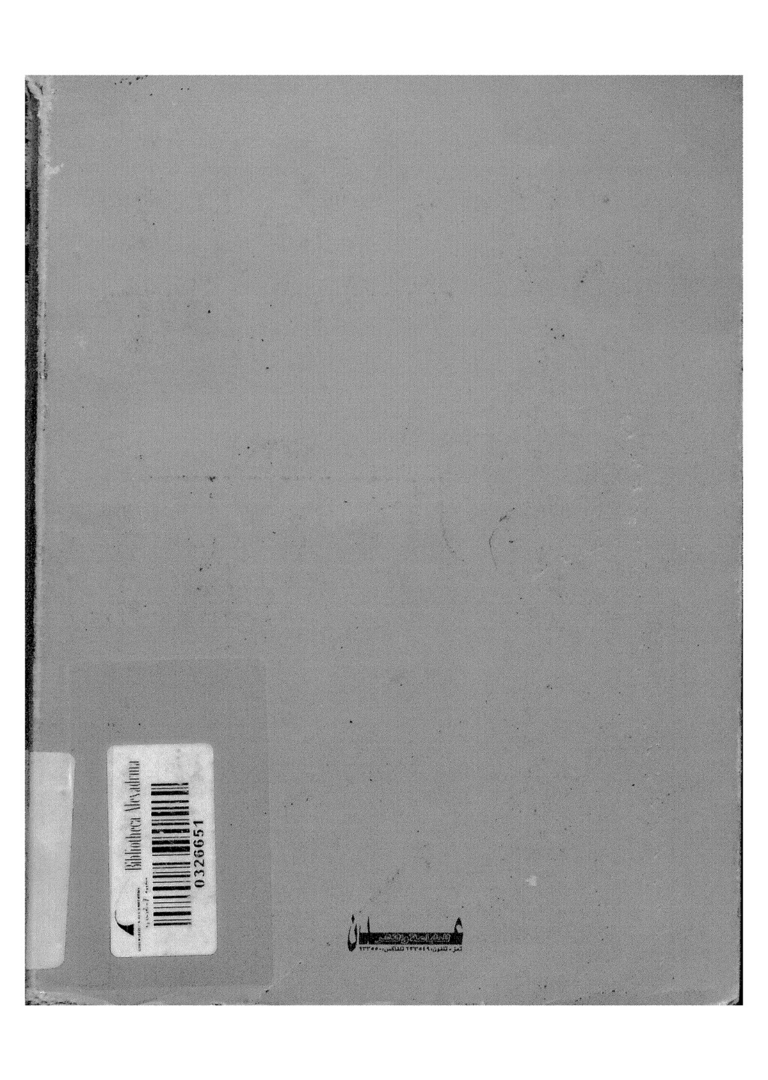
10- Basic Electronic instrument hand-book, clyde. F. Coombs, McGraw-Hill 1972.

1- A course in Electrical and Electronice Measurements and Instrumentation, by A.K. Sawhney-DHANPAT RAI of SONS-1988.

2- "Sensors and Transducers" M.J. Usher-Macmillan-1985.

3- Instrumentation, KIRK RIMBOI-American Technical society, chicago-1965.

4- Electrical Engineering Reference Book, Laughton & say 14th Edition, Butter worths-1985.


Bibliotheca Alexandrina
0326651